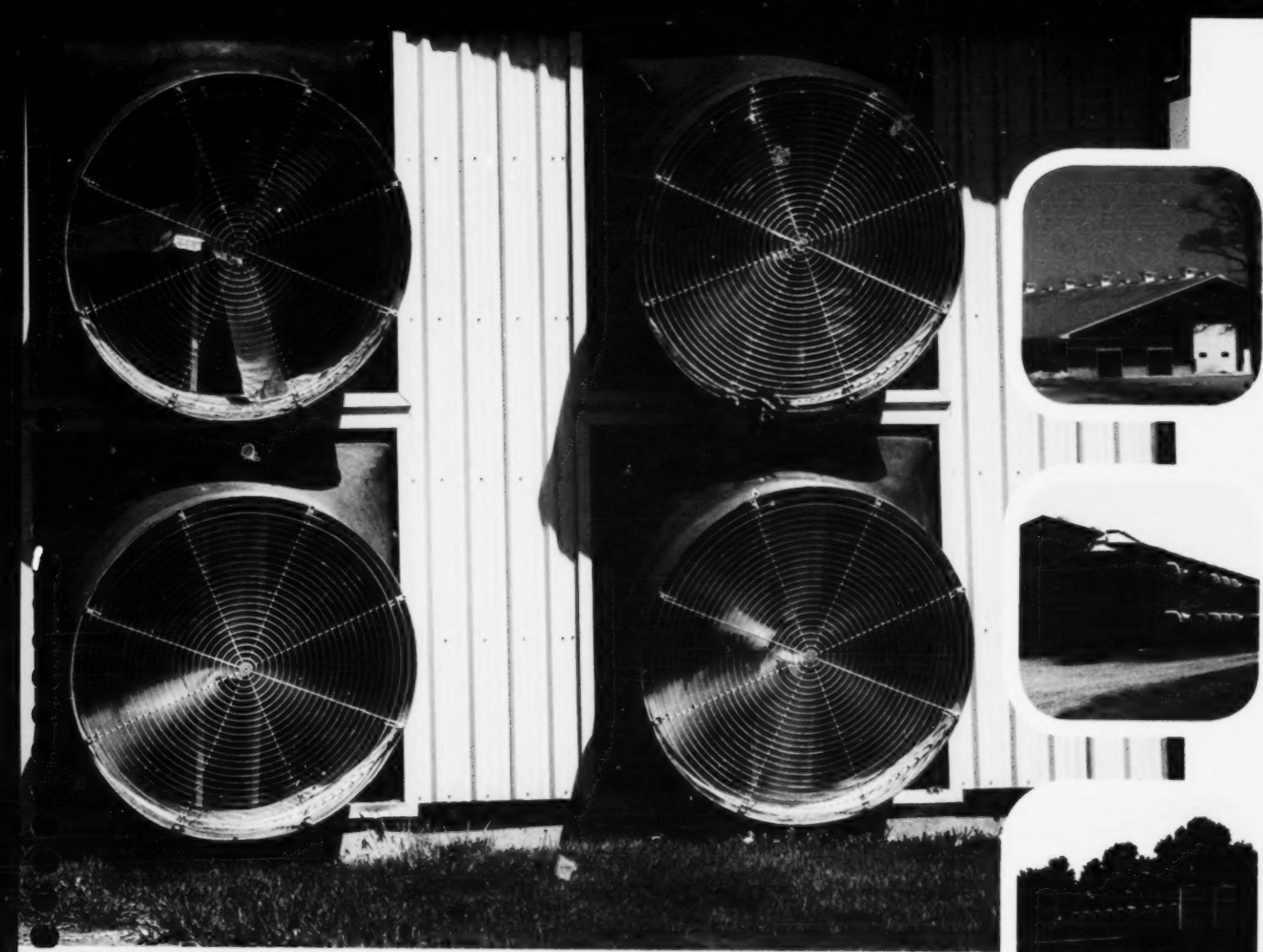
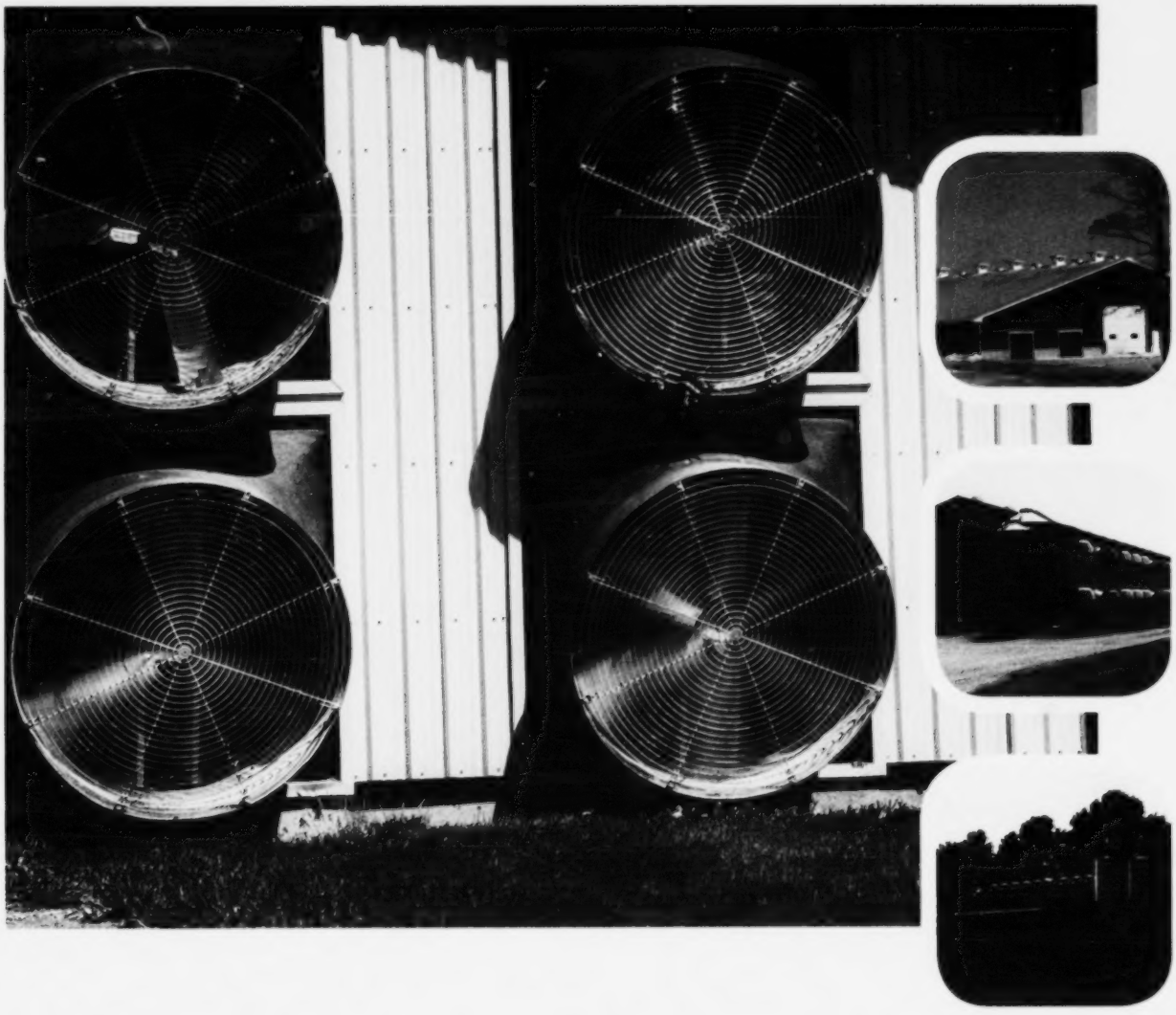


MANUEL DE VENTILATION DES INSTALLATIONS D'ÉLEVAGE DE BÉTAIL ET DE VOLAILLE

Publication 833F

Ministère de l'Agriculture,
de l'Alimentation et des Affaires rurales

Ontario



MANUEL DE VENTILATION DES INSTALLATIONS D'ÉLEVAGE DE BÉTAIL ET DE VOLAILLE

Publication 833F

Ministère de l'Agriculture,
de l'Alimentation et des Affaires rurales

Ontario

Directrice de la rédaction

Arlene Robertson, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO)

Équipe de rédaction

Robert Chambers, ing., MAAARO
Harold House, ing., MAAARO
Daniel Ward, ing., MAAARO

Remerciements

Les auteurs remercient M. Ron MacDonald, ing., Agviro Inc., M. Harry Huffman, ing., et M. Kerry Little, Corporate Photography, de leur apport à cette publication.

Où trouver de l'information technique ou commerciale?

Auprès du Centre d'information agricole au 1 877 424-1300 ou à ag.info.omafra@ontario.ca.

Pour une liste complète des produits et services du MAAARO, voir *www.ontario.ca/maaaro.*

Pour obtenir un exemplaire de la présente publication ou de toute autre publication du ministère, veuillez passer une commande :

- en ligne à *www.serviceontario.ca/publications*;
- par téléphone, en appelant InfoCentre ServiceOntario, du lundi au vendredi de 8 h 30 à 17 h 00 (HE) :
  - 416 326-5300,
  - 416 325-3408 (ATS),
  - 1 800 668-9938 (numéro sans frais de partout au Canada),
  - 1 800 268-7095 (ligne ATS sans frais de l'Ontario);
- en personne à un Centre ServiceOntario.

Publié par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales
© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2010
Toronto, Canada
ISBN 978-1-4435-1486-6
02-10-1M

Also available in English.

Avant-propos

Ce manuel a pour but d'aider les producteurs agricoles et les concepteurs de systèmes de ventilation dans la conception, l'installation et l'entretien de ces systèmes. Il explique les notions de base applicables à la conception, les conditions d'exploitation et les exigences d'entretien des systèmes de ventilation des bâtiments d'élevage de bétail et de volaille en Ontario. Le texte est appuyé d'exemples qui illustrent les interrelations entre les notions et les composants des systèmes dans des situations réelles.

Les unités de mesure utilisées dans les pages qui suivent sont celles qu'utilisent communément les concepteurs et fabricants des composants de systèmes de ventilation dans le dimensionnement et la conception des systèmes. Ainsi, trouve-t-on une combinaison d'unités de mesure du système international et du système impérial. Comme les unités impériales sont communément utilisées dans l'industrie de la ventilation, elles apparaissent en premier et sont suivies, le cas échéant, de leur équivalent en unités du système international, entre parenthèses. Ainsi, les indications de température sont-elles normalement en degrés Celsius (°C), tandis que les indications de débit sont en pieds cube par minute (pi^3/min, CFM en anglais). L'annexe E contient des tables de conversion du système international au système impérial.

Le manuel fournit aussi des directives aux entrepreneurs et aux producteurs pour l'installation et l'exploitation de systèmes de ventilation dans des bâtiments d'élevage de bétail et de volaille. Bien qu'il puisse être utile aux ingénieurs, il n'a pas été conçu comme un traité d'ingénierie consacré aux systèmes de ventilation. Il ne s'agit donc pas d'un recueil exhaustif de la théorie fondamentale sur le sujet. Le lecteur est invité à consulter d'autres sources de référence pour un exposé complet sur la ventilation des installations d'élevage de bétail et de volaille.

La mention de produits dans les pages qui suivent ne signifie aucunement que les auteurs en cautionnent l'utilisation, mais sert strictement à des fins d'illustration.

Table des matières

1. Principes de ventilation 3
- 1.1 Introduction 3
- 1.2 Fonctions du système de ventilation 3
- 1.3 Comment fonctionne la ventilation 4
  - 1.3.1 Ventilation par temps froid 5
  - 1.3.2 Ventilation par temps doux (printemps/automne) 8
  - 1.3.3 Ventilation par temps chaud 8
- 1.4 Types de systèmes de ventilation 9
  - 1.4.1 Systèmes de ventilation à pression négative 9
  - 1.4.2 Ventilation à pression positive ou neutre .. 10
- 1.5 Taux de renouvellement d'air 11

2. Isolation des bâtiments d'élevage 15
- 2.1 Qu'est-ce qu'un matériau isolant? 15
  - 2.1.1 Pourquoi isoler un bâtiment d'élevage? 16
- 2.2 Types de matériaux isolants 17
  - 2.2.1 Isolants en vrac 17
  - 2.2.2 Isolants fibreux en nattes 17
  - 2.2.3 Isolants en panneaux rigides 18
  - 2.2.4 Isolants giclés 19
- 2.3 Pourquoi se forme-t-il de la condensation dans les bâtiments agricoles? 21
- 2.4 Comment se forme la condensation? 21
- 2.5 Pare-vapeur 22
- 2.6 Écrans anti-rayonnement 23
- 2.7 Jusqu'à quel point doit-on isoler le bâtiment? .. 25
- 2.8 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment chauffé 25
- 2.9 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment non chauffé 26
  - 2.9.1 Économies d'énergie procurées par l'isolation 30
  - 2.9.2 Isolation du plancher 30
- 2.10 Entretien des matériaux isolants 31
  - 2.10.1 Rongeurs 31
  - 2.10.2 Ténébrions 32
  - 2.10.3 Oiseaux 33

3. Entrées d'air 37
- 3.1 Introduction 37
- 3.2 Rôles des entrées d'air 37
- 3.3 Prises d'air et entrées d'air 37
- 3.4 Types d'entrées d'air 41
  - 3.4.1 Principe de fonctionnement des entrées d'air 42
  - 3.4.2 Obstacles à l'écoulement de l'air 44
  - 3.4.3 Mélange de l'air 44
  - 3.4.4 Réglage des entrées d'air 49
  - 3.4.5 Autres types d'entrées d'air 51
  - 3.4.6 Exemple de dimensionnement des entrées d'air dans une pouponnière à veaux 58
- 3.5 Exemple de dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure dans un poulailler de poulets à griller 65

4. Ventilateurs 71
- 4.1 Systèmes de ventilation mécanique 71
- 4.2 Taux de renouvellement d'air pour l'Ontario 72
- 4.3 Ventilation par palier 72
- 4.4 Composants des ventilateurs 73
- 4.5 Capacité de ventilation et pression statique ... 74
  - 4.5.1 Effet vent 75
- 4.6 Bruit 77
- 4.7 Moteurs 77
- 4.8 Ventilateurs à une ou à deux vitesses 77
- 4.9 Ventilateurs à vitesse variable 77
- 4.10 Systèmes d'entraînement des ventilateurs 78
- 4.11 Pales des ventilateurs 79
- 4.12 Couvercles des ventilateurs 79
- 4.13 Emplacements des ventilateurs 80
- 4.14 Types de ventilateurs 81
  - 4.14.1 Ventilateurs muraux 81
  - 4.14.2 Ventilateurs de cheminée 82
  - 4.14.3 Ventilateurs de fosse 82
  - 4.14.4 Ventilateurs de circulation intérieure 83
  - 4.14.5 Ventilateurs à circulation horizontale 83
  - 4.14.6 Ventilateurs à circulation verticale 84
- 4.15 Choix des ventilateurs 84
  - 4.15.1 Ventilation minimale ou visant à assurer une maîtrise de l'humidité (palier 1) 85
  - 4.15.2 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps doux (paliers intermédiaires) 86
  - 4.15.3 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps très chaud (palier final) 86
- 4.16 Taux de renouvellement d'air dans un grand local d'engraissement-finition abritant 200 porcs ... 88

5. Régulation des installations de ventilation 99
5.1 Introduction ... 99
5.2 Terminologie ... 100
5.3 Principes de fonctionnement ... 102
5.3.1 Appareils de contrôle proportionnel et de type PID ... 102
5.3.2 Mesure de la température ... 103
5.3.3 Fonctions de régulation de la température 105
5.3.4 Autres fonctions de régulation de la température ... 108
5.3.5 Options de régulation de l'humidité ... 110
5.3.6 Options de réglage de l'ouverture des entrées d'air ... 111
5.3.7 Options de commande des ventilateurs de recirculation et de refroidissement ... 114
5.3.8 Commandes d'appareils de refroidissement et de captage des poussières à l'eau ... 115
5.3.9 Autres fonctions du régulateur de ventilation ... 116
5.3.10 Fonctions d'un régulateur de ventilation naturelle ... 117
5.3.11 Déplacements à durée déterminée des rideaux en fonction de la température ... 117
5.3.12 Déplacements des rideaux en fonction de la température, selon un différentiel préétabli ... 118
5.3.13 Option de chauffage d'appoint ... 118
5.3.14 Réglages du régulateur de ventilation naturelle ... 119
5.4 Alimentation électrique de secours ... 119
5.5 Système d'alarme indépendant ... 119

6. Systèmes de chauffage ... 123
6.1 Introduction ... 123
6.2 Température critique inférieure ... 124
6.3 Sources d'énergie ... 124
6.3.1 Propane et gaz naturel ... 125
6.3.2 Électricité ... 127
6.3.3 Mazout ... 127
6.3.4 Sources d'énergie renouvelables – Géothermie, solaire et biomasse ... 127
6.3.5 Coûts comparatifs des sources d'énergie pour le chauffage ... 130
6.4 Types de systèmes de chauffage ... 133
6.4.1 Chauffage par rayonnement ... 134
6.4.2 Chauffage des locaux par convection ... 137
6.5 Régulation du chauffage ... 146
6.6 Dimensionnement des appareils de chauffage pour divers types d'élevage ... 146
6.6.1 Tables de T pour le chauffage ... 147
6.6.2 Exemple de calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique recommandée pour une porcherie d'engraissement-finition ... 147
6.6.3 Analyse par programme informatique ... 148
6.6.4 Avertissement de surchauffe ... 150

7. Systèmes de refroidissement ... 155
7.1 Introduction ... 155
7.2 Température critique supérieure et stress thermique ... 156
7.3 Indices température-humidité relative ... 156
7.4 Systèmes de refroidissement ... 157
7.5 Refroidissement à l'air ... 158
7.5.1 Refroidissement avec entrées d'air ... 158
7.5.2 Refroidissement avec ventilateurs de circulation ... 159
7.5.3 Refroidissement par ventilation longitudinale ... 162
7.6 Refroidissement à l'eau ... 168
7.6.1 Asperseurs et goutteurs ... 169
7.6.2 Brumisateurs ... 170
7.6.3 Commandes des systèmes de refroidissement à l'eau ... 171
7.6.4 Tapis humides ... 172
7.7 Exemples de réglage ... 172
7.8 Résumé sur les systèmes de refroidissement à l'eau et à l'air ... 173
7.9 Étables laitières « à profil bas » ventilées transversalement ... 176

8. Ventilation du vide sous-toit ... 179
8.1 Introduction ... 179
8.1.1 Prévention de la condensation ... 179
8.1.2 Réduction de la charge thermique durant l'été ... 179
8.1.3 Approvisionnement en air frais des entrées d'air au plafond ... 179
8.2 Ventilation minimale du vide sous-toit ... 180
8.3 Détails de construction ... 184
8.4 Problèmes courants posés par la ventilation du vide sous-toit ... 186
8.4.1 Obstruction des orifices d'aération ... 186
8.4.2 Migration des contaminants provenant des locaux d'élevage ... 186

9. Ventilation naturelle ... 189
9.1 Principes de ventilation naturelle ... 189
9.1.1 Orientation et emplacement du bâtiment 191
9.2 Orifices de ventilation naturelle ... 192
9.2.1 Ouvertures dans les murs latéraux ... 192
9.2.2 Ouvertures dans le toit ... 195
9.2.3 Cheminées ... 196
9.3 Régulation des systèmes de ventilation naturelle 201
9.3.1 Variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air ... 201
9.3.2 Régulateurs commandant la ventilation naturelle ... 203
9.3.3 Autres facteurs influençant la performance ... 206

9.4 Modernisation de bâtiments existants 206
9.5 Ventilation naturelle des bâtiments à façade ouverte 207
9.5.1 Autres ouvertures de ventilation dans les bâtiments à façade ouverte 210
9.6 Ventilation mixte 210
9.6.1 Volet ventilation mécanique de la ventilation mixte 212
9.6.2 Volet ventilation naturelle de la ventilation mixte 213
9.6.3 Exemple de dimensionnement d'un système de ventilation mixte pour une porcherie d'engraissement-finition de 1 000 porcs 215
9.6.4 Commandes pour la ventilation mixte ... 220

10. Conservation de l'énergie 225
10.1 Introduction 225
10.2 Audit de la consommation d'énergie 225
10.2.1 Avantages d'un audit de la consommation d'énergie 225
10.2.2 Déroulement de l'audit 225
10.3 Recommandations d'actions correctives (RAC). 225
10.4 Conservation de l'énergie 226
10.4.1 Efficacité des ventilateurs 226
10.4.2 Échangeurs de chaleur 231
10.4.3 Systèmes de chauffage 235
10.4.4 Ventilation naturelle et ventilation mixte. 238

11. Mise en service et calibrage 243
11.1 Introduction 243
11.2 Mise en service et calibrage 243
11.2.1 Vérification des capteurs de température 243
11.2.2 Vérification des capteurs d'humidité 245
11.2.3 Vérification des fonctions du régulateur de ventilation 245
11.2.4 Programmation des paramètres du régulateur de ventilation 246
11.2.5 Autres réglages du régulateur 253
11.3 Tableau des procédures normales d'exploitation 255
11.4 Réglages du régulateur de ventilation naturelle 256
11.5 Réglages du régulateur de ventilation mixte .. 257

12. Maintenance et diagnostic d'anomalies . 261
12.1 Introduction 261
12.2 Maintenance 261
12.2.1 Ventilateurs 261
12.2.2 Entrées d'air 262
12.2.3 Appareils de chauffage 264
12.2.4 Régulateurs des systèmes de ventilation 265
12.2.5 Entretien général du bâtiment 267
12.3 Diagnostic d'anomalies 267
12.4 Entrée dans le bâtiment 268
12.5 Problèmes d'odeurs 268
12.5.1 Mesure des concentrations de gaz 270
12.6 Problèmes de température 271
12.6.1 Mesure des températures 272
12.7 Problèmes d'humidité relative 273
12.7.1 Mesure de l'humidité relative 274
12.8 Problèmes de circulation de l'air 275
12.8.1 Mesure du débit d'air 276

Annexes
Annexe A – Glossaire 289
Annexe B – Taux de renouvellement d'air 295
Annexe C – Valeurs de calcul de l'installation de ventilation 297
Annexe D – Tables de T 299
Annexe E – Facteurs de conversion 301

Figures

Figure 1.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure 4
Figure 1.2 Ventilation hivernale 5
Figure 1.3 Graphique des taux de renouvellement d'air calculés pour des porcs de 50 kg logés à une température de 20 °C et à une HR de 70 % 7
Figure 1.4 Exemple illustrant la transition entre les valeurs minimales hivernales et les valeurs maximales estivales des taux de renouvellement d'air pour un local abritant 200 porcs à l'engrais 9
Figure 1.5 Indicateur de pression statique (ou manomètre à tube incliné) 10

Figure 2.1 Isolant en vrac soufflé dans un vide sous-toit 17
Figure 2.2 Isolant en nattes à friction installé entre les montants d'un mur 18
Figure 2.3 Panneaux isolants de polystyrène extrudé .. 18
Figure 2.4 Application d'isolant giclé 19
Figure 2.5 Mur à montant dépourvu d'isolant 21
Figure 2.6 Mur à montant avec pare-vapeur et isolant . 21
Figure 2.7 Murs d'un bâtiment soumis à passablement de condensation 22
Figure 2.8 Pare-vapeur de plastique installé du côté chaud de l'isolant en nattes dans un bâtiment d'élevage 22
Figure 2.9 Isolant déplacé par le vent 23
Figure 2.10 Pare-vapeur exposé, à la surface duquel se forme de la condensation 23
Figure 2.11 Effet de la présence et de l'absence d'un enduit de peinture céramique sur un toit en acier 24
Figure 2.12 Avantages de l'isolation par temps chaud .. 27
Figure 2.13 Répercussions de l'absence d'isolation sur le confort et la température interne des animaux 27
Figure 2.14 Avantages de l'isolation par temps froid ... 28
Figure 2.15 Répercussions de l'absence d'isolation par temps froid 28
Figure 2.16 Poulailler infesté de souris 31
Figure 2.17 Ténébrions dans un poulailler qui en est infesté 32
Figure 2.18 Image thermique d'un mur isolé à l'aide d'un panneau rigide infesté de ténébrions .. 33
Figure 2.19 Dommages causés par les oiseaux à un matériau isolant non protégé dans une étable laitière 33
Figure 2.20 Grillage d'acier galvanisé de 1 po x 1 po au-dessus des prises d'air de soffite 33

Figure 3.1 Prise d'air aménagée dans un mur 38
Figure 3.2 Prise d'air passant par le plafond 38
Figure 3.3 Prise d'air passant par le vide sous-toit 39
Figure 3.4 Panneau pare-vent fixé à un mur latéral du bâtiment 39
Figure 3.5 Auvents de prise d'air recouverts de collecteurs d'énergie solaire 40
Figure 3.6 Panneau isolé fermant le dessous de l'auvent 40
Figure 3.7 Passage de l'air réduit de 5 à 10 % par les panneaux d'occultation bloquant la lumière du jour 40
Figure 3.8 Prises d'air plus grandes nécessaires pour compenser la restriction au passage de l'air occasionnée par les tapis humides assurant le refroidissement par évaporation 41
Figure 3.9 Fente d'aération dans un poulailler de pondeuses en cages 41
Figure 3.10 Entrées d'air modulaires montées au plafond dans une porcherie 42
Figure 3.11 Réglage correct de la fente d'aération 42
Figure 3.12 Ouverture trop large d'une fente d'aération . 42
Figure 3.13 Manomètre (ici, le modèle à tube incliné) .. 42
Figure 3.14 Relation entre la pression statique et la vitesse d'admission de l'air dans les fentes par temps froid 43
Figure 3.15 Jet d'air entrant et effet d'entraînement produit par une fente d'aération 44
Figure 3.16 Circuit de circulation de l'air dans un local étroit, avec entrée d'air d'un côté 45
Figure 3.17 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air d'un côté 45
Figure 3.18 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air des deux côtés 45
Figure 3.19 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air au plafond orientée vers les deux côtés 45
Figure 3.20 Décélération du jet d'air entrant par une fente d'aération 46
Figure 3.21 Installation constituée d'un conduit rigide relié à un ventilateur soufflant et percé de trous de distribution, qui améliore la circulation de l'air 47
Figure 3.22 Ventilateur de circulation intérieure 48
Figure 3.23 Ventilateurs de circulation intérieure créant un circuit en piste de course 48
Figure 3.24 Ventilateurs de circulation intérieure assurant une circulation transversale dans une seule direction 48
Figure 3.25 Ventilateurs de circulation intérieure assurant une circulation entrecroisée 48
Figure 3.26 Actionneur automatique d'entrée d'air thermorégulé avec treuil manuel 49
Figure 3.27 Entrée d'air auto-équilibrée 51
Figure 3.28 Trappe de 6 pieds de hauteur et de 56 pi de largeur courant sur toute la longueur du mur d'extrémité de chaque étage de ce poulailler de poulets à griller 52
Figure 3.29 Plan d'étage indiquant les éventuelles zones d'air stagnant 52

Figure 3.30 Type ancien de plafond « poreux » dans une étable surmontée d'un grenier. 52
Figure 3.31 Plafond poreux avec bandes de diffusion en acier inoxydable 53
Figure 3.32 Plafond poreux fait de feuilles de vinyle perforées supportant un isolant en nattes de fibre de verre R 20 53
Figure 3.33 Système d'admission d'air où se trouvent réunis un ventilateur d'aspiration et un ventilateur d'évacuation, le tout complété par un registre mélangeur (Axis-Air) 53
Figure 3.34 Système d'admission d'air comportant une grille d'aération motorisée et un ventilateur de circulation 54
Figure 3.35 Plan d'étage d'une pouponnière à veaux et vue transversale d'une stalle montrant l'architecture du système assurant la ventilation du local 64
Figure 3.36 Vue en plan d'une installation où les ventilateurs de circulation sont disposés de manière à produire un circuit de circulation en piste de course dans le poulailler de poulets à griller de 48 pi x 250 pi donné en exemple 67
Figure 3.37 Vue en plan d'une installation où les ventilateurs de circulation intérieure sont disposés de manière à assurer une circulation transversale dans le poulailler de poulets à griller de 48 pi x 250 pi donné en exemple 68

Figure 4.1 Règle du double pour un système de ventilation à cinq paliers 72
Figure 4.2 Composants d'un système de ventilation . . . 74
Figure 4.3 Représentation graphique des baisses de pression 75
Figure 4.4 Courbe de ventilation et pression statique . . 75
Figure 4.5a Ventilateur sans capot 76
Figure 4.5b Ventilateur avec capot 76
Figure 4.6 Ventilateur de 36 po à entraînement direct . 78
Figure 4.7 Ventilateur de 48 po à entraînement par courroie 78
Figure 4.8 Courroie articulée et tensionneur automatique 79
Figure 4.9 Capot de bonne qualité 80
Figure 4.10 Capot dirigeant l'air vers le haut 80
Figure 4.11 Couvercle de ventilateur isolé 80
Figure 4.12 Zones d'influence relative d'un ventilateur d'extraction et d'une entrée d'air 81
Figure 4.13 Ventilateur mural dans un mur-sandwich d'un bâtiment d'élevage 81
Figure 4.14 Ventilateur de cheminée avec dispositif de mesure de la vitesse de l'air 82
Figure 4.15 Ventilateur de fosse et conduits de transition menant sous le plancher latté 83
Figure 4.16 Ventilateur de fosse et conduit menant sous le plancher 83
Figure 4.17 Ventilateur à circulation horizontale dans un poulailler de poulets à griller 84
Figure 4.18 Ventilateur soufflant vers le bas dans une étable laitière 84
Figure 4.19 Ventilateur HVLS dans une étable laitière . . 84
Figure 4.20 Paliers de ventilation dans un local abritant des porcs d'engraissement-finition 92
Figure 4.21 Paliers de ventilation pour un local abritant 15 veaux 96

Figure 5.1 Régulateur électronique de système de ventilation pouvant commander ventilateurs d'extraction, appareils de chauffage, entrées d'air et brumisateurs 99
Figure 5.2 Deux capteurs de température, le premier relié au régulateur de ventilation, le deuxième à un système d'alarme indépendant 103
Figure 5.3 Vue en plan d'un grand poulailler de poulets à griller comportant trois zones de régulation et six capteurs de température 104
Figure 5.4 Vue en plan du local d'engraissement-finition d'une porcherie illustrant les différents éléments d'un système de ventilation 105
Figure 5.5 Stratégie de régulation de la température par la ventilation dans un local d'engraissement-finition abritant 200 porcs nouvellement placés de 27 kg chacun 106
Figure 5.6 Capteur d'humidité installé dans un poulailler 111
Figure 5.7 Actionneur d'entrée d'air à câbles commandé par un régulateur de ventilation 111
Figure 5.8 Régulateur de ventilation accompagné d'un module d'appoint pour l'ouverture et la fermeture des entrées d'air 111
Figure 5.9 Commandes manuelles de variation de vitesse utilisées avec des ventilateurs de circulation intérieure 114
Figure 5.10a Commande VFD d'un ventilateur mural . . . 114
Figure 5.10b Panneau de commande VFD pour des ventilateurs HVLS dans une étable laitière. 115
Figure 5.10c Panneau de commande VFD. 115
Figure 5.11 Dispositif de commande d'un système de refroidissement à l'eau 116
Figure 5.12 Thermostat électromécanique de secours . 116
Figure 5.13 Plan d'une étable laitière à stabulation libre montrant la disposition générale des lieux, avec les rideaux de ventilation et les capteurs de température 117
Figure 5.14 Deux stratégies de gestion du chauffage . . 119
Figure 5.15 Système d'alarme distinct du régulateur de ventilation principal 120

Figure 6.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure 124
Figure 6.2 Conduit d'évacuation d'un tube rayonnant. 126
Figure 6.3 Illustration du fonctionnement d'une thermopompe 128

Figure 6.4 Trois types de boucles souterraines utilisées par les thermopompes pour extraire la chaleur du sol 128
Figure 6.5a Chauffe-eau alimenté par un système solaire actif 129
Figure 6.5b Système solaire passif 129
Figure 6.6 Chaudière à biomasse dans une porcherie 130
Figure 6.7 Efficacité de 70 %, de 100 % et de 75 % pour des appareils standard fonctionnant respectivement au mazout, à l'électricité et au gaz naturel ou au propane 132
Figure 6.8 Efficacité de 90 %, de 100 % et de 95 % pour des appareils à haute efficacité énergétique fonctionnant respectivement au mazout, à l'électricité et au gaz naturel/propane 133
Figure 6.9 Comparaison d'un système de chauffage à infrarouges et d'un système à air pulsé .. 134
Figure 6.10 Tubes rayonnants basse intensité dans un poulailler 134
Figure 6.11 Radiateur à flamme nue 135
Figure 6.12 Tube de quartz électrique dans un poulailler 135
Figure 6.13 Lampes chauffantes procurant un chauffage par rayonnement 136
Figure 6.14 Coussin chauffant pour coins à porcelets .. 137
Figure 6.15 Aérotherme avec soupape de gaz réglable (bleue) 137
Figure 6.16 Aérotherme avec raccord en T 138
Figure 6.17 Système de chauffage à eau chaude courant 139
Figure 6.18 Système de chauffage hydronique à eau chaude et à condensation à haute efficacité énergétique 139
Figure 6.19 Entrée d'air frais et sortie d'air de combustion pour un système à condensation à haute efficacité énergétique 139
Figure 6.20 Tuyau d'eau chaude en acier noir 140
Figure 6.21 Réseau de tubes à ailettes dans une porcherie-maternité 141
Figure 6.22 Aérotherme à l'eau chaude 141
Figure 6.23 Robinets à trois voies, capteurs à immersion et pompe 144
Figure 6.24 Installation de tuyaux d'eau chaude dans le plancher d'une pouponnière 145

Figure 7.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure 156
Figure 7.2 Indice de stress thermique pour des bovins 156
Figure 7.3 Indice de stress thermique pour des porcs d'engraissement-finition 156
Figure 7.4 Indice de stress thermique pour des poules pondeuses 157
Figure 7.5 Indice de stress thermique pour des dindes de 15 semaines 157
Figure 7.6 Entrées d'air projetant l'air vers les cases (porcs) 159
Figure 7.7 Système d'entrées d'air sur les deux murs latéraux 159
Figure 7.8 Ventilateur de recirculation axial projetant l'air sur de grandes distances 159
Figure 7.9 Ventilateur de recirculation de type brasseur d'air avec grille de protection dispersant l'air rapidement 160
Figure 7.10a Disposition des ventilateurs brasseurs d'air ou des ventilateurs avec cadre dans une étable laitière à stabulation libre 160
Figure 7.10b Disposition de ventilateurs de circulation dans une étable laitière à stabulation libre 161
Figure 7.11 Ventilateurs HVLS dans une étable laitière à stabulation libre 161
Figure 7.12 Vitesses composites de l'air projeté par un ventilateur HVLS de 20 pi de diamètre installé à 16 pi au-dessus d'un couloir d'affouragement à une distance de 60 pi des autres appareils 162
Figure 7.13 Batterie de ventilateurs d'extraction d'un système de ventilation longitudinale dans un poulailler de poulets à griller 163
Figure 7.14 Prises d'air d'un système de ventilation longitudinale dans un poulailler de poulets à griller 163
Figure 7.15 Système de ventilation longitudinale dans une étable laitière 163
Figure 7.16 Utilisation de déflecteurs rabattables pour accroître l'effet de ventilation longitudinale sur toute la longueur du bâtiment 164
Figure 7.17 Vieille grange-étable dotée d'un système de ventilation longitudinale, avec ventilateurs installés dans le vide sous-toit ou le grenier à foin 168
Figure 7.18 Vue intérieure du conduit permettant de raccorder les ventilateurs au local abritant les animaux 168
Figure 7.19 Tête d'asperseur rotative à faible pression avec système antigoutte et renfort de conduit 169
Figure 7.20 Système d'aspersion à faible pression dans une étable laitière 170
Figure 7.21 Brumisateur à haute pression dans un poulailler de poulets à griller 171
Figure 7.22 Brumisateur à haute pression devant une entrée d'air dans une porcherie 171
Figure 7.23 Alimentation en eau et régulateur d'un système d'aspersion 171
Figure 7.24 Soupape volumétrique réglable 171
Figure 7.25 Tapis humide 172
Figure 7.26 Étable laitière « à profil bas », tête-à-tête, à huit rangées, ventilée transversalement . 176
Figure 7.27 Déflecteurs utilisés pour accroître la vitesse de l'air au-dessus de stalles libres 176
Figure 7.28 Système de brumisation à haute pression placé aux entrées d'air pour abaisser la température dans l'étable 176

Figure 8.1 Une bonne ventilation du vide sous-toit nécessite des ouvertures continues le long des avant-toits et suffisamment d'aérateurs de faîte 180
Figure 8.2 Croquis d'un bâtiment montrant les exigences de ventilation à la fois du local d'élevage et du vide sous-toit 181
Figure 8.3 Conduit vertical installé sur une sortie d'air permettant d'évacuer l'air vicié au-dessus de la prise d'air du vide sous-toit..... 182
Figure 8.4 Prise d'air passant par le mur..... 184
Figure 8.5 Prise d'air passant par le plafond..... 185
Figure 8.6 Prise d'air passant par le vide sous-toit ... 185
Figure 8.7 Détérioration grave occasionnée par la pénétration d'humidité dans le vide sous-toit 187

Figure 9.1 Porcherie de finition ventilée naturellement 189
Figure 9.2 Obstacle à la course du vent contre-indiquant la ventilation naturelle dans le bâtiment en aval..... 191
Figure 9.3a Rideaux dans le haut et le bas d'un mur latéral d'une étable laitière à stabulation libre ... 193
Figure 9.3b Panneau rigide de type fenêtre dans un bâtiment abritant des bovins laitiers 193
Figure 9.3c Tubes gonflables en polyéthylène faisant office de panneau de réglage de la ventilation naturelle dans une porcherie..... 193
Figure 9.4 Bavette pare-vent installée devant l'ouverture prévue par temps froid 194
Figure 9.5 Toile à ombrer ayant une porosité de 30 à 40 % utilisée pour couvrir les premiers 12 po (300 mm) du mur 194
Figure 9.6 Aérateur de faîte continu..... 195
Figure 9.7 Coiffe de faîte en cours d'installation sur le toit d'une étable laitière..... 195
Figure 9.8 Faîte modifié créant une ouverture de faîte d'un seul côté sur le toit d'une étable laitière..... 196
Figure 9.9 Cheminée ordinaire surmontée d'un chapeau de cheminée..... 196
Figure 9.10 Espacement des cheminées sur le toit d'une étable laitière..... 197
Figure 9.11 Croquis d'une cheminée construite sur mesure avec clapet rotatif (pour les dimensions, voir le tableau 9.1) 197
Figure 9.12a Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Été..... 201
Figure 9.12b Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Printemps et automne..... 201
Figure 9.12c Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Hiver 202
Figure 9.12d Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Jours très froids de l'hiver 202
Figure 9.13 Influence de la direction du vent sur les schémas de circulation de l'air durant l'été. 203
Figure 9.14a Emplacements suggérés des capteurs des régulateurs dans les étables laitières à stabulation entravée..... 204
Figure 9.14b Emplacements suggérés des capteurs des régulateurs dans les étables laitières à stabulation libre 204
Figure 9.15 Emplacements des capteurs des régulateurs..... 205
Figure 9.16 Clapet installé à l'intérieur d'un conduit de cheminée isolé 205
Figure 9.17 Effet de la direction du vent sur les schémas de circulation de l'air 206
Figure 9.18 Bâtiment à charpente à poteaux et à façade ouverte destiné à abriter des animaux.... 207
Figure 9.19 Circulation de l'air à l'intérieur d'un bâtiment à façade ouverte 208
Figure 9.20a Façade partiellement fermée dans le but de réduire la ventilation dans le bâtiment . 208
Figure 9.20b Cloisonnement d'un bâtiment long destiné à réduire les courants d'air longitudinaux . 208
Figure 9.21 Utilisation d'arbres comme brise-vent 209
Figure 9.22 Brise-vent à 20 % poreux..... 209
Figure 9.23 Clôture faisant office de brise-vent poreux. 209
Figure 9.24 Clôture pleine servant de brise-vent et d'obstacle à la neige 209
Figure 9.25a Clôture brise-vent protégeant un bâtiment à façade ouverte des vents venant de l'arrière du bâtiment..... 210
Figure 9.25b Clôture brise-vent protégeant un bâtiment à façade ouverte des vents venant de l'avant du bâtiment 210
Figure 9.26a Bâtiment à façade ouverte avec ouvertures dans le mur arrière pour la ventilation estivale..... 210
Figure 9.26b Vue arrière d'un bâtiment à façade ouverte dont les rideaux sont ouverts 210
Figure 9.27 Porcherie d'engraissement-finition avec structure de stockage du fumier liquide sous-jacente bénéficiant d'un système de ventilation mixte 211
Figure 9.28 Ventilation mixte dans un élevage de dindons à l'engrais 212
Figure 9.29 Régulateur électronique conçu spécifiquement pour la ventilation mixte.. 220
Figure 9.30 Stratégie de régulation de la ventilation applicable à un système de ventilation mixte dans le local d'engraissement-finition d'une porcherie de 1 000 porcs 221

Figure 10.1 Ventilateur ancien avec pales en oreille d'éléphant très peu efficace 227
Figure 10.2 Ventilateur de conception récente, plus efficace..... 227
Figure 10.3 Niveaux minimaux d'efficacité énergétique recommandés par la société ASABE pour des ventilateurs de 24, 36 et 48 po 230

Figure 10.4 Comparaison des courbes de rendement de deux ventilateurs de 24 po fonctionnant à diverses pressions statiques 231
Figure 10.5 Échangeur de chaleur air-air à plaques ... 232
Figure 10.6 Échangeur de chaleur à calandre 232
Figure 10.7 Double circulation de l'air dans un échangeur de chaleur 232
Figure 10.8 Lampe chauffante de 175 W avec son support 236
Figure 10.9 Coussin trop chaud incitant les porcelets à se coucher sur leur mère 236
Figure 10.10 Comparaison de la consommation d'électricité par un coussin chauffant de 65 W et une lampe chauffante de 175 W 237
Figure 10.11 Tubes rayonnants infrarouges basse intensité 238
Figure 10.12 Panneaux solaires recouvrant les entrées d'air d'un poulailler de poulets à griller ... 238
Figure 10.13 Étable laitière à ventilation naturelle, avec deux rideaux 239
Figure 10.14 Porcherie d'engraissement à ventilation mixte, avec plancher entièrement latté ... 240

Figure 11.1a Capteur de température trop proche des animaux 244
Figure 11.1b Capteur de température situé au-dessus des oiseaux sur la trajectoire prévue de l'air ... 244
Figure 11.1c Capteur de température doté d'un dispositif de protection anti-rayonnement 245
Figure 11.2 Capteur d'humidité fixé à un poteau de soutien dans un poulailler 245
Figure 11.3 Stratégie de régulation de la ventilation dans un local d'engraissement-finition abritant 200 porcs nouvellement placés à 27 kg 248
Figure 11.4 Comparaison de deux courbes de moteur à la performance idéale d'un ventilateur de 24 po de diamètre 249
Figure 11.5 Soupape de réglage de l'alimentation en gaz d'un appareil de chauffage au gaz . 250

Figure 12.1a Ventilateurs d'extraction convenablement protégés par des capots de protection contre les intempéries 261
Figure 12.1b Ventilateur d'extraction ayant besoin d'un nettoyage 262
Figure 12.2 Un réglage adéquat des entrées d'air garantit le maintien d'un milieu confortable pour les animaux 262
Figure 12.3 Aérotherme 264
Figure 12.4 Régulateur électronique conçu pour commander l'ensemble des ventilateurs, des entrées d'air, des appareils de chauffage et du matériel de refroidissement par évaporation 266
Figure 12.5 Tubes de diffusion servant au dosage colorimétrique des gaz 270
Figure 12.6 Thermomètre de poche doublé d'un hygromètre 272
Figure 12.7a Photo normale d'un moteur de ventilateur 273
Figure 12.7b Image thermique du même moteur révélant une surchauffe du moteur 273
Figure 12.8 Enregistreurs portatifs de données sur la température et l'humidité 273
Figure 12.9 Psychromètre fronde utilisé pour mesurer l'humidité relative 275
Figure 12.10 Poire à fumée utilisée pour déceler d'éventuels problèmes liés à l'écoulement de l'air 277
Figure 12.11 Brumisateur chasse-insecte utilisé pour générer d'importantes quantités de fumée 277
Figure 12.12 Anémomètre électronique servant à mesurer la vitesse d'écoulement de l'air. 278
Figure 12.13 Manomètre de pression statique montrant une lecture courante dans un local d'élevage 279

Tableaux

Tableau 2.1 Coefficient de résistance thermique de matériaux courants 15
Tableau 2.2 Avantages et inconvénients de divers types d'isolant 20
Tableau 2.3 Analyse des pertes de chaleur dans un poulailler de poulets à griller bien isolé 26
Tableau 2.4 Point de rosée 29
Tableau 2.5 Comparaison des pertes de chaleur enregistrées dans un poulailler de poulets à griller selon qu'il est bien isolé ou mal isolé 30
Tableau 2.6 Avantages de l'isolation sous le plancher d'un poulailler de poulets à griller bien isolé 31

Tableau 3.1 Diamètre des trous dans les conduits de circulation intérieure de l'air 47
Tableau 3.2 Ouverture de l'entrée d'air dans un local abritant du bétail, à divers paliers de ventilation 50

Tableau 4.1 Exemple illustrant la baisse de pression en fonction de la vitesse du vent pour un ventilateur d'extraction mural non protégé . 76

Tableau 5.1 Valeurs de la courbe de températures de consigne pour le local d'engraissement-finition donné en exemple..... 109
Tableau 5.2 Comparaison entre les stratégies de ventilation par séquence et par sélection des ventilateurs, et leurs consommations énergétiques respectives..... 109
Tableau 5.3 Valeurs de la courbe de vitesse minimale pour le local d'engraissement-finition donné en exemple 110
Tableau 5.4 Ouverture approximative des entrées d'air à prévoir à chaque palier de ventilation pour le local d'engraissement-finition des porcs donné en exemple..... 112
Tableau 5.5 Exemple des valeurs d'ouverture des entrées d'air pour un poulailler de poulets à griller de 60 pi x 300 pi recourant à la ventilation longitudinale en été lorsque les oiseaux ont atteint une certaine taille 113
Tableau 5.6 Intervalles de pressions statiques recommandés pour la plupart des bâtiments d'élevage 113
Tableau 5.7 Valeurs types programmées dans un modèle de base de régulateur de ventilation naturelle, pour une exploitation laitière ... 119

Tableau 6.1 Énergie calorifique de diverses sources d'énergie..... 130
Tableau 6.2 Comparaison des coûts de chauffage annuels en fonction de la source d'énergie et du coût unitaire associé à chacune 131
Tableau 6.3 Puissance calorifique avec un tuyau en acier nu ordinaire de schedule 40 (BTU/h/pi ou W/m) 140
Tableau 6.4 Guide concernant les niveaux de chauffage pour diverses applications agricoles..... 145
Tableau 6.5 Longueurs de boucles de tuyaux recommandées 145
Tableau 6.6 Calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique approximative recommandée 147
Tableau 6.7 Calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique approximative recommandée pour une porcherie d'engraissement-finition abritant 200 porcs 147
Tableau 6.8 Graphique de sortie sur le bilan thermique pour une température hivernale de -15 °C et un taux de renouvellement d'air minimal de 320 pi^3/min 149
Tableau 6.9 Graphique de sortie sur les exigences de ventilation et de chauffage pour un local abritant des veaux 150

Tableau 7.1 Effets de la vitesse de l'air sur la température ressentie par des porcs 158
Tableau 7.2 Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale 164
Tableau 7.3 Baisse maximale de la température ambiante causée par la vaporisation de l'eau 169
Tableau 7.4 Effet du refroidissement à l'eau sur les porcs 169
Tableau 7.5 Réglages pour le refroidissement (paliers 1 et 2) d'une porcherie..... 172
Tableau 7.6 Réglages visant la maîtrise des odeurs (palier 1) et le refroidissement (palier 2) .. 172
Tableau 7.7 Réglages visant la maîtrise des poussières (palier 1) et le refroidissement (palier 2) dans un bâtiment abritant des dindons à l'engrais..... 173
Tableau 7.8 Comparaison de divers systèmes de refroidissement 173
Tableau 7.9 Applications des systèmes de refroidissement aux étables laitières 174
Tableau 7.10 Applications des systèmes de refroidissement aux porcheries..... 174
Tableau 7.11 Applications des systèmes de refroidissement aux bâtiments abritant des volailles 175

Tableau 8.1 Ouvertures minimales donnant sur le vide sous-toit pour assurer une circulation naturelle..... 181

Tableau 9.1 Dimensions (selon croquis 9.11) suggérées pour les cheminées fabriquées sur mesure 198
Tableau 9.2 Réglages normaux des régulateurs de la ventilation naturelle 203
Tableau 9.3 Réglages approximatifs des clapets des cheminées..... 205
Tableau 9.4 Espacement des planches d'une clôture brise-vent 209

Tableau 10.1 Valeurs de rendement obtenues lors d'essais de ventilateurs de 18 po de diamètre de divers fabricants 229
Tableau 10.2 Pression statique et efficacité des ventilateurs 230
Tableau 10.3 Calcul de la quantité d'énergie récupérée par l'échangeur de chaleur donné en exemple 233
Tableau 10.4 État atmosphérique des lieux 233

Tableau 11.1 Valeurs de la courbe de températures de consigne pour le local d'engraissement-finition de la porcherie donnée en exemple 247
Tableau 11.2 Estimation mathématique de l'ouverture des entrées d'air dans un local abritant du bétail, à divers paliers de ventilation .. 252
Tableau 11.3 Exemple de valeurs d'une courbe de vitesses minimales pour le local d'engraissement-finition d'une porcherie .. 253
Tableau 11.4 Exemple de tableau des procédures normales d'exploitation relatif à un régulateur 255
Tableau 11.5 Exemple de valeurs de programmation d'un régulateur de ventilation naturelle installé dans une porcherie d'engraissement 257

Tableau 12.1 Gaz présents dans les bâtiments d'élevage et ce qu'il faut savoir à leur sujet 259
Tableau 12.2 Diagnostic des anomalies de la ventilation par temps froid 280
Tableau 12.3 Diagnostic des anomalies de la ventilation par temps doux 284

Feuilles de calcul

Feuille de calcul servant au dimensionnement des entrées d'air 55
Feuille de calcul servant au dimensionnement des conduits de recirculation 56
Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure 57
Feuille de calcul servant au dimensionnement des entrées d'air – Exemple, partie I 58
Feuille de calcul servant au dimensionnement du conduit de recirculation – Exemple, partie II 61
Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure dans un poulailler de poulets à griller 65
Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs 86
Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs – Local d'engraissement-finition abritant 200 porcs 88
Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs – Local abritant 15 veaux 93
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale 164
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale – Exemple portant sur un poulailler abritant 20 000 poulets à griller 165
Feuille de calcul pour la ventilation du vide sous-toit ... 182
Feuille de calcul pour la ventilation du vide sous-toit dans une porcherie 183
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation naturelle 198
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation naturelle – Exemple 199
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ventilateurs 213
Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Prises d'air pour les ventilateurs 214
Feuille de calcul servant au dimensionnement d'un système de ventilation mixte – Ouvertures dans les murs latéraux 215
Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ventilateurs 215
Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des système de ventilation mixte – Prises d'air pour les ventilateurs 216
Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ouvertures dans les murs latéraux 217

Table des matières

1. Principes de ventilation 3

1.1 Introduction 3
1.2 Fonctions du système de ventilation 3
1.3 Comment fonctionne la ventilation 4
1.3.1 Ventilation par temps froid 5
1.3.2 Ventilation par temps doux (printemps/automne) 8
1.3.3 Ventilation par temps chaud 8
1.4 Types de systèmes de ventilation 9
1.4.1 Systèmes de ventilation à pression négative 9
1.4.2 Ventilation à pression positive ou neutre 10
1.5 Taux de renouvellement d'air 11

1. Principes de ventilation

1.1 Introduction

Le but de tout producteur de bétail ou de volaille est de fournir aux animaux un milieu ambiant optimal qui favorise leur bien-être et leur productivité. Une bonne ventilation est un facteur essentiel à l'atteinte de ce but.

1.2 Fonctions du système de ventilation

Fournir un apport d'air frais en tout temps. Par temps froid, seule une petite quantité d'air frais est nécessaire pour fournir l'apport d'oxygène requis et assurer la maîtrise de l'humidité et des odeurs. Par temps plus doux, d'importants apports d'air frais sont nécessaires à la maîtrise de la température.

Répartir l'air frais uniformément sans causer de courants d'air. Les entrées d'air distribuent l'air frais dans toutes les zones du local. Elles sont conçues pour abaisser la vitesse de l'air et maintenir les différences de température à l'intérieur des limites acceptables en permettant à l'air entrant de se mélanger à l'air ambiant avant qu'il atteigne les animaux.

Réguler la température ambiante. La plupart des animaux d'élevage ont une zone de confort thermique (appelée zone thermoneutre) à l'intérieur de laquelle leur énergie est principalement canalisée vers la production ou la reproduction. Les jeunes animaux sensibles, comme les porcelets et les poussins, ont une zone thermoneutre initialement étroite qui s'élargit au fur et à mesure qu'ils grossissent et se rapprochent de la maturité. Les moutons adultes, avec leur épaisse toison, et les vaches laitières adultes, avec leur prise alimentaire élevée, ont une zone thermoneutre plus étendue. La figure 1.1 montre les zones thermoneutres d'un certain nombre d'animaux d'élevage, et leurs températures critiques inférieure et supérieure. Les températures de l'air se situant au-dessus ou au-dessous de ces limites critiques empêchent un animal de maintenir une température corporelle normale et un bon état de santé. La plupart des animaux possèdent une zone thermoneutre raisonnablement étendue, mais d'importantes variations de température (ou de petites fluctuations à fréquence rapide) peuvent créer des courants d'air susceptibles de leur causer du stress et de les prédisposer à divers problèmes de santé et troubles respiratoires.

Évacuer l'humidité produite par la respiration. Lorsqu'ils respirent, tous les animaux expirent de la vapeur d'eau dans l'air ambiant du local où ils sont logés. Combiné à l'eau s'évaporant des planchers mouillés, l'air expiré augmente rapidement le niveau d'humidité du local s'il n'est pas évacué au fur et à mesure. L'air humide absorbe facilement les odeurs et rend l'environnement propice à la prolifération d'organismes pathogènes. En outre, l'air humide accroît la sensation de froid et accélère la détérioration des bâtiments d'élevage.

Supprimer les odeurs et les gaz. L'air des locaux d'élevage est chargé de dioxyde de carbone provenant de la respiration, qui s'accumule et supplante l'oxygène vital. Il contient aussi de l'ammoniac, du méthane et du sulfure d'hydrogène, autant de gaz dégagés par la décomposition du fumier. Tous ces gaz ont la capacité de réduire la productivité animale, de causer une détérioration du matériel et des structures et de produire des conditions de travail moins qu'idéales pour les personnes chargées de s'occuper des animaux.

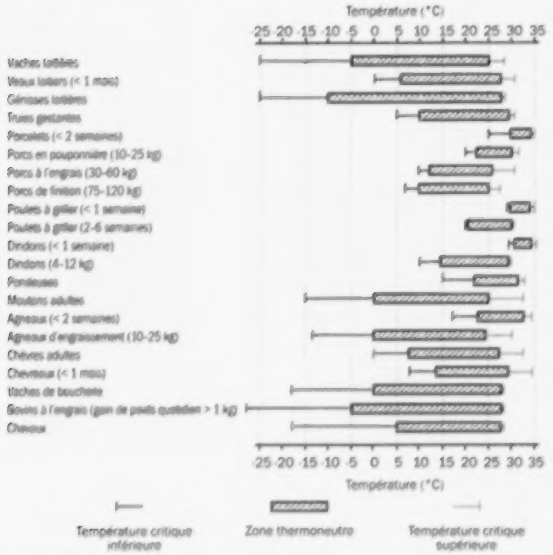


Figure 1.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure

Source : American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. *Handbook : Heating, Ventilating and Air Conditioning Applications*, chapitre 22, 2007.

1.3 Comment fonctionne la ventilation

Il existe deux propriétés physiques importantes de l'air qui doivent être comprises et prises en considération dans la conception de tout système de ventilation si l'on veut obtenir les résultats escomptés.

La première propriété est la suivante : l'air froid est plus dense que l'air chaud et descend au niveau du plancher une fois qu'il a pénétré dans un bâtiment plus chaud. L'air froid entre toujours par un orifice pratiqué plus ou moins près du haut d'un mur ou au plafond (en provenance du vide sous-toit), puis parcourt une distance horizontale en longeant le plafond : il a donc amplement le temps de se réchauffer avant d'atteindre les animaux.

La deuxième propriété est la suivante : l'air froid ne retient pas beaucoup d'humidité et est souvent qualifié d'air sec, et ce, même si son taux d'humidité relative (HR) – pourcentage d'eau contenue dans l'air humide par rapport à la quantité maximale contenue à saturation (100 %) à la même température – est souvent assez élevé. Lorsque l'air se réchauffe, son volume augmente et sa capacité d'absorption et de rétention de l'humidité s'accroît considérablement. Cette propriété permet à l'air froid entrant qui s'est réchauffé au contact de l'air ambiant d'absorber la vapeur d'eau qui se dégage des animaux et des planchers mouillés.

Tous les systèmes de ventilation fonctionnent selon le principe de l'équilibre thermique. Ainsi, pour qu'un environnement demeure sain, il doit y avoir un équilibre entre les gains thermiques et les pertes thermiques, c.-à-d. entre la chaleur produite par les animaux et celle qui est perdue par l'enveloppe du bâtiment et le système de ventilation.

Les animaux produisent deux formes de chaleur : la chaleur sensible et la chaleur latente. La chaleur sensible (qu'on peut ressentir) contribue à chauffer le bâtiment d'élevage. Autrement dit, elle peut modifier la température ambiante. La chaleur latente est l'énergie absorbée ou libérée par une substance pendant un changement de phase, notamment lors de la condensation de la vapeur d'eau produite par la respiration des animaux, mais également lors de la vaporisation (transformation en vapeur) des liquides présents sur les planchers mouillés ou dans les structures de stockage du fumier. Ce changement de phase (ou d'état) ne modifie pas la température ambiante : seule la portion de chaleur sensible est donc disponible pour contribuer au maintien de la température ambiante souhaitée.

Pendant les saisons froides, un chauffage d'appoint est nécessaire pour maintenir l'équilibre thermique. Il s'agit d'éviter que les animaux ne produisent trop de chaleur sensible pour se réchauffer, qu'il y ait une chute de température dans le local ou que le système de ventilation cesse de fonctionner. L'apport de chaleur doit être suffisant pour compenser les pertes thermiques et maintenir une ventilation minimale. La température d'équilibre est la température extérieure à laquelle la ventilation minimale (d'ordinaire la ventilation visant la maîtrise de l'humidité) peut fonctionner en continu sans qu'il soit nécessaire de fournir un apport de chaleur supplémentaire pour maintenir la température des locaux.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Une isolation suffisante joue un rôle important dans le maintien d'un bon équilibre thermique tout au long de l'année. Pour tous les bâtiments d'élevage chauffés, le coefficient de résistance thermique recommandé est d'au moins R 20 (RSI 3,5) pour les murs et R 30 (RSI 5,2) pour les plafonds. L'isolation réduit la transmission de la chaleur par l'enveloppe, qu'il s'agisse de pertes thermiques par temps froid ou de gains thermiques par temps chaud.

On isole les bâtiments qui abritent du bétail ou de la volaille pour empêcher la vapeur d'eau de se condenser sur les surfaces intérieures. Dans un bâtiment d'élevage dont l'air ambiant est à une température de 20 °C et à une HR de 70 %, toute surface d'un mur et d'un plafond dont la température se situe à 14 °C ou moins devient un milieu de condensation pour la vapeur d'eau contenue dans l'air. Autrement dit, la pellicule d'air à proximité de cette surface plus froide ne peut plus retenir d'humidité additionnelle : son humidité relative est de 100 %. La température réduite à laquelle l'air commence à se condenser est appelée point de rosée (14 °C dans ce cas-ci). Lorsque cette vapeur d'eau passe à l'état liquide, le seul moyen de l'évacuer du bâtiment est de la vaporiser de nouveau (ce qui nécessite une source de chaleur latente), puis de l'acheminer vers un point d'évacuation. Une isolation suffisante empêche les surfaces des locaux d'atteindre le point de rosée.

Un coupe-vapeur efficace est requis du côté intérieur (ou chaud) de l'isolant pour empêcher les concentrations de vapeur d'eau à l'intérieur du local de mouiller l'isolant et de réduire ainsi son efficacité.

1.3.1 Ventilation par temps froid

Par temps froid, la principale fonction du système de ventilation est d'éliminer l'humidité expirée (sous la forme de vapeur d'eau) par le bétail ou la volaille. Pour y parvenir, il faut aspirer l'air extérieur à l'intérieur du bâtiment, le réchauffer de sorte qu'il puisse absorber l'humidité, puis évacuer du bâtiment l'air chargé d'humidité.

Un volume d'air extérieur traversant un bâtiment d'élevage illustre le processus de ventilation. Comme il est illustré à la figure 1.2, un volume d'air extérieur de 750 L à une température de -10 °C et à une HR de 100 % pèse 1 kg et contient 1,5 g de vapeur d'eau. Cet air est entièrement saturé et ne peut pas contenir d'humidité supplémentaire.

Cet air froid est aspiré dans le bâtiment d'élevage par des entrées d'air frais. Supposons que cet air ne s'est pas encore mélangé mais qu'il s'est réchauffé pour atteindre la température de l'air ambiant (de -10 °C à +20 °C dans l'exemple). Deux choses se produisent dans cette masse d'air de 1 kg : comme l'air prend de l'expansion (de 750 à 835 L), sa densité diminue et sa capacité de rétention de la vapeur d'eau s'accroit. Si l'air réchauffé contenait la même quantité d'eau (1,5 g), son humidité relative descendrait à 10 %. Une fois l'air froid mélangé à l'air ambiant, le même volume d'air absorbe une plus grande quantité de la vapeur d'eau présente dans le local. À une humidité relative de 100 %, l'air contiendrait 14,6 g de vapeur d'eau, soit presque dix fois plus qu'au départ.

Bien entendu, il faut éviter que l'air intérieur d'un local abritant des animaux d'élevage n'atteigne une

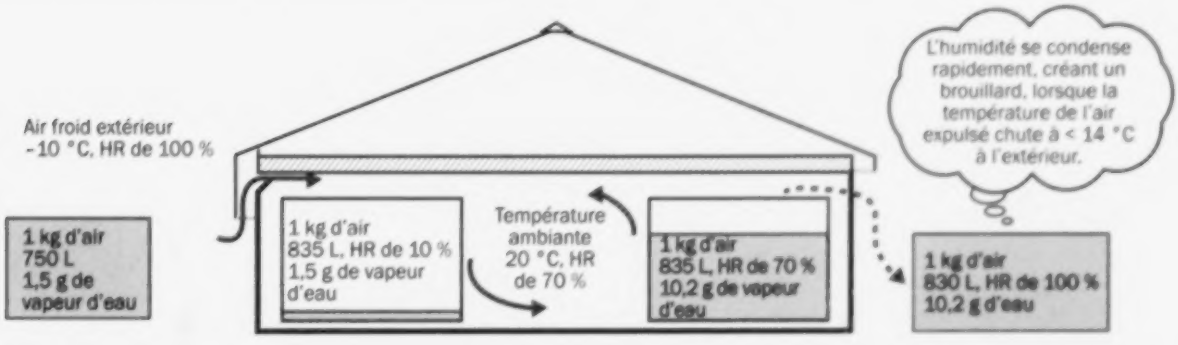


Figure 1.2 Ventilation hivernale

HR de 100 %. Pour la plupart des animaux et pour les personnes chargées de s'en occuper, une HR maximale se situant entre 65 et 70 % est plus appropriée, car elle contribue au maintien d'un confort raisonnable dans le bâtiment d'élevage et à la santé des animaux. Dans cet exemple, l'humidité provenant de la respiration des animaux et des planchers mouillés s'évapore dans l'air ambiant jusqu'à ce que 1 kg d'air mélangé contienne 10,2 g de vapeur d'eau (HR de 70 %) à une température de 20 °C. Les ventilateurs d'extraction – ou, avec une ventilation naturelle, les sorties d'air situées dans la partie supérieure du local – expulsent cet air chaud et humide selon un débit contrôlé. C'est ainsi que chaque kilogramme d'air qui entre contient 1,5 g de vapeur d'eau, se mélange à l'air ambiant et ressort en contenant 10,2 g de vapeur d'eau; la quantité de vapeur d'eau effectivement éliminée correspond donc à 8,7 g d'eau (10,2 g – 1,5 g).

Des recherches menées dans des environnements contrôlés ont permis de déterminer la rapidité avec laquelle la vapeur d'eau est produite par divers animaux. Elles montrent également que la vapeur d'eau et la production de chaleur dépendent du niveau d'activité des animaux (sommeil opposé à alimentation ou à socialisation active). Par exemple, un porc à l'engrais de 50 kg logé sur un plancher entièrement latté produit en moyenne 80 g de vapeur d'eau par heure. Le taux de renouvellement d'air requis pour assurer le maintien d'un air intérieur adéquat est calculé comme suit :

Taux de renouvellement d'air =
80 g/h/porc ÷ 8,7 g/kg = 9,2 kg/h/porc

Comme les taux de renouvellement d'air sont exprimés en volume plutôt qu'en masse, les kilogrammes d'air par heure requis sont exprimés en litre par seconde (L/s) ou en pied cube par minute (pi^3/min), et non en kg/h. Pour convertir le taux de renouvellement d'air en une valeur de volume, il faut faire le calcul suivant :

9,2 kg/h x 835 L/kg ÷ 60 x 60 s/h = 2,1 L/s

ou

2,1 L/s x 35,28 pi^3 ÷ 1 000 L x 60 s/m = 4,4 pi^3/min

Ce calcul permet de localiser un point sur la courbe des taux de renouvellement d'air propres à assurer la maîtrise de l'humidité dans un bâtiment logeant des animaux d'un gabarit ou d'un type donné. On effectue un certain nombre de calculs semblables pour diverses températures extérieures, de manière à obtenir une courbe complète des taux de renouvellement d'air propres à assurer la maîtrise de l'humidité dans un bâtiment logeant des animaux de ce gabarit. À la figure 1.3, on peut voir un graphique type des taux de renouvellement d'air calculés pour la ventilation visant la maîtrise de la température et pour la ventilation visant la maîtrise de l'humidité. Dans cet exemple, la température d'équilibre (température extérieure à laquelle le taux de renouvellement d'air est le même pour maîtriser la température et pour maîtriser l'humidité) se situe à -17 °C.

Tous les animaux produisent plus de vapeur d'eau et de chaleur à mesure qu'ils grossissent. Cela signifie que les courbes des taux calculés pour assurer la maîtrise de la température et de l'humidité sont dynamiques et que de nombreux calculs sont nécessaires pour l'établissement d'une série de courbes pour des porcs appartenant à divers groupes d'âges. Cette stratégie est employée par les concepteurs de systèmes de ventilation pour tous les types de bétail et de volaille logés dans les conditions climatiques et d'élevage qu'on retrouve au Canada.

La figure 1.3 présente également une courbe de ventilation hivernale plus élevée (ligne pointillée) que certains producteurs choisissent d'utiliser lorsqu'ils veulent réduire les odeurs et améliorer la qualité de l'air pour les animaux et les personnes qui en prennent soin. En présence de litière accumulée ou de fumier liquide stocké sous un plancher latté, l'ammoniac et les autres gaz qui se dégagent exigent de trois à quatre renouvellements d'air par heure pour assurer une qualité d'air raisonnable pour les animaux et le personnel, et ce, même si le taux de renouvellement d'air nécessaire à la maîtrise de l'humidité peut être deux fois moins important. Pour les animaux d'élevage vulnérables aux maladies, comme les veaux et les jeunes porcs en pouponnière, un taux de renouvellement d'air supérieur diminue les concentrations d'éventuels organismes pathogènes aéroportés.

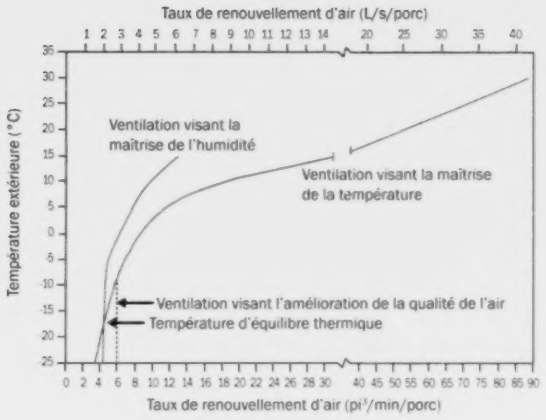


Figure 1.3 Graphique des taux de renouvellement d'air calculés pour des porcs de 50 kg logés à une température de 20 °C et à une HR de 70 %

Comme les animaux produisent continuellement de l'humidité, il vaut mieux, pour garder le local confortable, le ventiler de manière continue plutôt que de manière intermittente. Le matériel de ventilation est d'ordinaire dimensionné pour un fonctionnement en continu, mais il y a certaines exceptions. Ainsi, de très petits locaux, un petit nombre d'animaux ou des animaux de très faibles gabarits (p. ex. poussins d'un jour) exigent un taux de renouvellement inférieur à celui qui est maintenu par des ventilateurs de capacité normale ou par des cheminées de dimensions disponibles dans le commerce. En pareils cas, on peut utiliser une minuterie pour autant que les cycles arrêt demeurent inférieurs à trois minutes afin de prévenir d'importantes hausses d'humidité.

Pour les bâtiments d'élevage ventilés mécaniquement, la ventilation minimale est d'ordinaire assurée par un ventilateur d'extraction à vitesse variable permettant de passer d'un palier de ventilation à un autre au fur et à mesure que les animaux grossissent et produisent plus de vapeur d'eau et de chaleur sensible. La plupart des conduits de cheminée de ventilation naturelle sont dotés d'un registre de contrôle du débit d'air assurant une adaptation similaire du taux de renouvellement d'air. De nombreux régulateurs de systèmes de ventilation modifient le taux de renouvellement d'air grâce à un capteur d'humidité installé dans le local. Ce capteur laisse la ventilation naturelle augmenter au prix d'un abaissement de la température ambiante, afin de prévenir l'apparition de conditions de forte humidité. Si cette stratégie entraîne une diminution suffisante de la température ambiante, le système de chauffage s'active pour prévenir un refroidissement. Souvent, par ailleurs, on calcule le taux de renouvellement d'air visant à assurer la ventilation minimale dans un local d'élevage en fonction de la courbe de croissance des animaux. Cette façon de procéder permet de programmer des valeurs prédéfinies pour divers jours de la période de croissance ou de séjour des animaux dans les locaux.

Lorsque le bilan thermique est positif, la chaleur sensible produite par les animaux est supérieure à la chaleur qui est perdue par l'enveloppe du bâtiment et la ventilation minimale, ce qui entraîne une hausse de la température ambiante. D'ordinaire, les ventilateurs d'extraction assurant une ventilation minimale passent à pleine vitesse suivant une augmentation de 1-2 °C. Si la température ambiante continue d'augmenter, un autre palier de ventilation s'active pour limiter l'élévation de la température ambiante et maintenir celle-ci à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux.

Lorsque le bilan thermique est négatif, la température ambiante diminue. Le système de chauffage s'active à la température ambiante acceptable la plus basse afin que les animaux demeurent à l'intérieur de leur zone thermoneutre. Cependant, avec des animaux plus gros qui tolèrent mieux le froid, comme des vaches laitières ou des dindons ou moutons reproducteurs, on peut laisser la température ambiante chuter d'une valeur raisonnable et éviter des coûts de chauffage supplémentaires. Dans la plupart des cas, cela fait augmenter la chaleur totale produite par les animaux, car ceux-ci consomment alors plus de nourriture pour s'adapter à un environnement plus froid. Par exemple, laisser la température d'un bâtiment d'élevage abritant des vaches laitières s'abaisser à environ 3 °C par temps froid est plus économique que d'augmenter l'apport de chaleur ou de laisser les ventilateurs s'arrêter. Les vaches consommeront davantage pour produire la chaleur supplémentaire, sans que leur production laitière ni leur santé n'en soient affectées pour la peine. On ne recommande pas de régler le thermostat à un

niveau situé sous le point de congélation, à moins que les tuyaux d'eau et le système de manutention du fumier ne soient conçus pour supporter le gel.

1.3.2 Ventilation par temps doux (printemps/automne)

La figure 1.3 montre que la ventilation visant la maîtrise de l'humidité reste pratiquement constante à environ 4 pi^3/min (1,9 L/s) lorsque la température extérieure est inférieure à -5 °C.

Lorsque la température extérieure grimpe au-dessus du point de congélation, on voit que tant pour la ventilation qui vise la maîtrise de la température que pour celle qui vise la maîtrise de l'humidité, les taux de renouvellement d'air augmentent assez rapidement avec l'élévation de la température. Comme la température de l'air entrant se rapproche de la température ambiante souhaitée, il y a moins de possibilités d'assèchement de l'air ambiant et moins d'effet de refroidissement pour compenser la production de chaleur par les animaux. La maîtrise à la fois de l'humidité et de la température aux niveaux souhaités commande alors un taux de renouvellement d'air plus élevé.

Des oscillations de la température extérieure de 10-15 °C se produisent quotidiennement au printemps et à l'automne, ce qui exige des réglages constants du taux de renouvellement d'air pour assurer l'évacuation continuelle de l'humidité ou de la chaleur excédentaire produite par les animaux. On a recours à plusieurs paliers de ventilation pour que la transition entre les valeurs minimales et les valeurs maximales des taux quotidiens de renouvellement d'air se fasse sans créer de courants d'air. Un deuxième ventilateur à vitesse variable – semblable au ventilateur à débit minimal hivernal – est souvent utilisé pour adapter le taux de renouvellement d'air en fonction de fluctuations de la température ambiante de 1 à 3 °C. Selon la dimension du local et la différence totale de ventilation requise, deux ou trois ventilateurs peuvent être nécessaires par temps doux.

1.3.3 Ventilation par temps chaud

La ventilation estivale vise à assurer un renouvellement d'air suffisant pour maintenir la température ambiante à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux et évacuer toute chaleur animale excédentaire. Durant les épisodes de chaleur extrême, on doit assurer une ventilation suffisante afin que la température ambiante soit d'au plus 2 °C supérieure à la température extérieure.

À une température extérieure de 25 °C, dans l'exemple illustrant les taux de renouvellement d'air calculés pour une porcherie (voir la figure 1.3), un taux de renouvellement d'air de 70 pi^3/min (33 L/s) par porc est nécessaire à la maîtrise de la température. Ce taux est dix-sept fois plus élevé qu'en hiver. Avec la ventilation mécanique, on assure une transition en douceur vers ce taux de renouvellement d'air estival en utilisant une combinaison de ventilateurs d'extraction de différentes capacités qui augmentent le taux de renouvellement d'air par paliers raisonnables. La transition complète des taux hivernaux aux taux estivaux peut nécessiter le recours à au moins quatre paliers. Cette transition survient d'ordinaire avec des hausses de température ambiante de l'ordre de 4 à 7 °C, selon le type et le gabarit des animaux abrités dans les locaux ventilés.

La figure 1.4 illustre la stratégie de configuration du système de ventilation d'un local logeant 200 porcs à l'engrais, qui comporte quatre ventilateurs d'extraction, dont deux à vitesse variable et deux à vitesse unique. Avec la ventilation naturelle, on peut accomplir la même transition en modulant, par paliers, l'ouverture des registres de cheminée et des panneaux d'entrée d'air des murs latéraux.

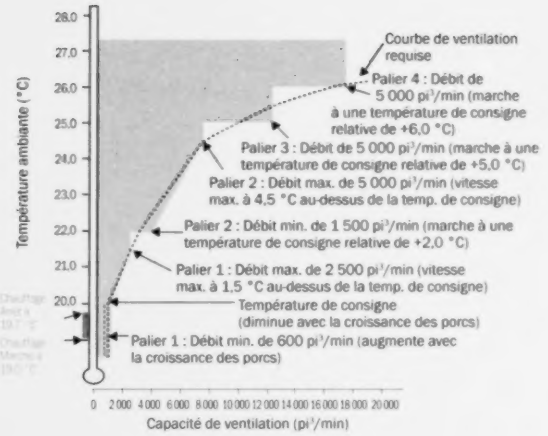


Figure 1.4 Exemple illustrant la transition entre les valeurs minimales hivernales et les valeurs maximales estivales des taux de renouvellement d'air pour un local abritant 200 porcs à l'engrais

1.4 Types de systèmes de ventilation

La ventilation peut être mécanique, naturelle ou mixte. Les systèmes de ventilation mécanique poussent l'air dans un bâtiment ou l'en évacuent, tandis les systèmes de ventilation naturelle utilisent le vent et la poussée thermique pour assurer le déplacement de l'air. Les systèmes mixtes font appel à la ventilation mécanique durant les mois froids de l'année et passent à la ventilation naturelle durant les mois d'été. Tous ces systèmes exigent des entrées et des sorties d'air adéquatement conçues pour assurer un mélange et une circulation d'air appropriés à l'intérieur du bâtiment.

Les systèmes de ventilation mécanique peuvent être à pression négative, à pression neutre ou à pression positive. Les systèmes à pression négative utilisent des ventilateurs pour évacuer l'air de la structure, les systèmes à pression neutre utilisent des ventilateurs pour faire entrer l'air dans le bâtiment et l'en évacuer et les systèmes à pression positive utilisent des ventilateurs pour faire entrer l'air uniquement.

1.4.1 Systèmes de ventilation à pression négative

La plupart des systèmes de ventilation mécanique conçus pour les animaux d'élevage utilisent des ventilateurs d'extraction qui évacuent l'air du bâtiment à l'extérieur, de sorte que la pression de l'air intérieur est légèrement inférieure à la pression de l'air extérieur. C'est ce qu'on appelle la ventilation mécanique par extraction ou à pression négative. L'air frais de l'extérieur entre par toutes les ouvertures, grandes ou petites, pour équilibrer la différence de pression et remplacer l'air évacué. Le vent soufflant au-dessus d'un bâtiment doté d'une cheminée de ventilation naturelle crée une succion ou une pression négative au sommet de la cheminée, ce qui entraîne l'air à l'extérieur du bâtiment. Cette même aspiration se produit le long du mur côté sous le vent. L'air est aspiré à l'extérieur du bâtiment par l'évent mural qui se trouve de ce côté, tandis que l'air extérieur pénètre du côté face au vent. De nombreux systèmes de ventilation naturelle fonctionnent selon le principe de la pression négative durant les saisons plus fraîches de l'année. Quand le temps s'adoucit et que l'écart est faible entre les températures extérieures et intérieures, une fois que les panneaux de ventilation sont complètement ouverts, le vent qui entre dans le bâtiment devient la principale source de ventilation.

Un système de ventilation à pression négative bien configuré veille à ce que le local soit raisonnablement étanche à l'air. Cette précaution garantit que l'arrivée d'air est située de manière stratégique et que son débit est contrôlé de manière à procurer un mélange de l'air approprié et une ventilation complète du local sans aucun raccourci vers un point d'évacuation. Étant donné que pendant la plus grande partie de l'année, l'air de remplacement entrant est plus frais que la température ambiante souhaitée, les entrées d'air sont situées dans le haut des murs ou au plafond et l'air est propulsé à l'horizontale le long du plafond de manière à laisser le plus de temps possible à l'air pour se mélanger et se réchauffer avant d'atteindre les animaux.

Pour que la vitesse de l'air entrant demeure élevée et constante, les entrées d'air sont réglées en fonction du volume d'air évacué par les ventilateurs d'extraction ou les orifices de ventilation naturelle. Les orifices « accidentels » (p. ex. porte entre-ouverte) peuvent augmenter considérablement l'apport d'air et réduire ou éliminer l'arrivée d'air souhaité aux entrées d'air. La vitesse de l'air entrant dans les fentes d'admission d'air est en lien direct avec la chute de pression statique qui survient quand l'air s'engouffre dans les fentes. La différence de pression statique correspond à une hauteur de colonne d'eau dans un tube en verre ou en plastique, appelé manomètre, comme celui qui est illustré à la figure 1.5. Ce manomètre est étalonné en pouces de colonne d'eau (CE). Le tube indiquant la pression faible donne sur le local; les ventilateurs ou le vent exercent donc une succion sur cette colonne d'eau. Le tube à pression plus élevée donne sur l'extérieur du local; il est soumis à la pression atmosphérique normale. Pour éviter les effets du vent extérieur, la différence de pression est mesurée non pas entre l'extérieur et le local, mais plutôt entre le vide sous-toit et le local. Compte tenu des faibles valeurs de pression négative requises pour la ventilation des bâtiments d'élevage (d'ordinaire 0,04-0,08 de CE), le tube de verre est légèrement incliné de façon à faciliter la lecture.

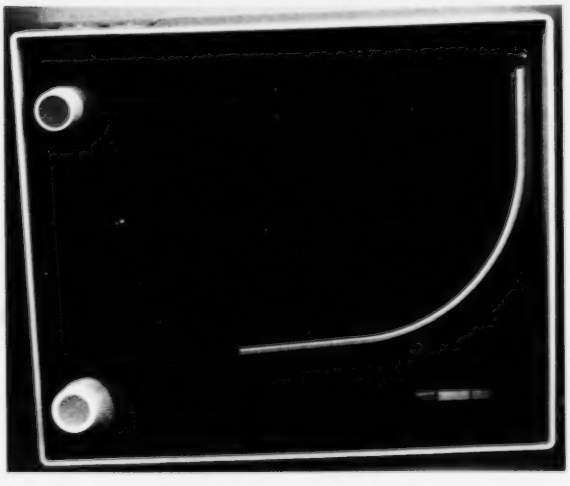


Figure 1.5 Indicateur de pression statique (ou manomètre à tube incliné)

1.4.2 Ventilation à pression positive ou neutre

Les systèmes à pression neutre utilisent un ventilateur à la fois pour l'admission et l'extraction de l'air. Comme ils ont besoin de deux fois plus de puissance, leur popularité n'est pas aussi grande que celle des systèmes à pression négative, mais ils peuvent permettre d'établir un schéma de ventilation dans un local soumis à des pressions statiques neutres ou extrêmement faibles – positives ou négatives selon le cas. Les ventilateurs à pression neutre disponibles dans le commerce – avec ventilateur d'admission et ventilateur d'extraction intégrés et diffuseur – sont efficaces pour les locaux exigeant une circulation d'air interne forcée.

Ce type de ventilateur à pression neutre est également efficace dans un bâtiment à locaux multiples avec caniveaux interreliés et ouverts, car il prévient d'importants échanges d'air entre locaux adjacents. Le registre de mixage sur ce type de ventilateur permet de mélanger partiellement les deux jets d'air (débits entrant et sortant), ce qui assure un réchauffement préalable de l'air et donne un taux de renouvellement d'air inférieur à celui qu'on peut normalement obtenir avec seulement un ventilateur d'extraction équivalent.

Les véritables systèmes à pression positive forcent l'air dans la structure grâce à des ventilateurs. L'air intérieur est ensuite évacué à l'extérieur par une ou plusieurs ouvertures. Les systèmes à pression positive sont rarement utilisés car l'air humide et chaud forcé sur les composants du bâtiment – le bois et les matériaux isolants en particulier – en réduit la résistance, la durabilité et l'efficacité.

Pour que la vitesse de l'air entrant demeure élevée et constante, les entrées d'air sont réglées en fonction du volume d'air évacué par les ventilateurs d'extraction ou les orifices de ventilation naturelle. Les orifices « accidentels » (p. ex. porte entre-ouverte) peuvent augmenter considérablement l'apport d'air et réduire ou éliminer l'arrivée d'air souhaité aux entrées d'air. La vitesse de l'air entrant dans les fentes d'admission d'air est en lien direct avec la chute de pression statique qui survient quand l'air s'engouffre dans les fentes. La différence de pression statique correspond à une hauteur de colonne d'eau dans un tube en verre ou en plastique, appelé manomètre, comme celui qui est illustré à la figure 1.5. Ce manomètre est étalonné en pouces de colonne d'eau (CE). Le tube indiquant la pression faible donne sur le local; les ventilateurs ou le vent exercent donc une succion sur cette colonne d'eau. Le tube à pression plus élevée donne sur l'extérieur du local; il est soumis à la pression atmosphérique normale. Pour éviter les effets du vent extérieur, la différence de pression est mesurée non pas entre l'extérieur et le local, mais plutôt entre le vide sous-toit et le local. Compte tenu des faibles valeurs de pression négative requises pour la ventilation des bâtiments d'élevage (d'ordinaire 0,04-0,08 de CE), le tube de verre est légèrement incliné de façon à faciliter la lecture.

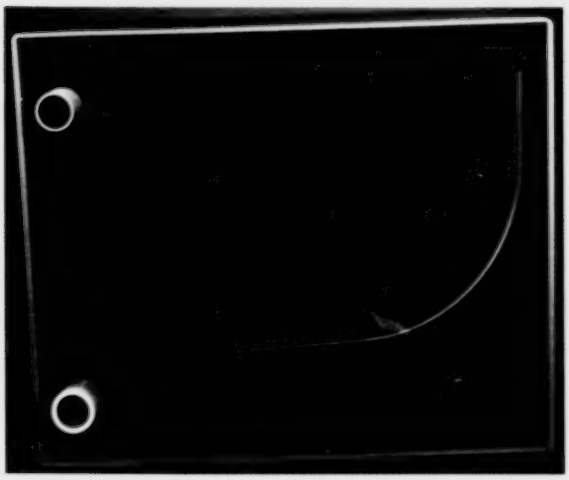


Figure 1.5 Indicateur de pression statique (ou manomètre à tube incliné)

1.4.2 Ventilation à pression positive ou neutre

Les systèmes à pression neutre utilisent un ventilateur à la fois pour l'admission et l'extraction de l'air. Comme ils ont besoin de deux fois plus de puissance, leur popularité n'est pas aussi grande que celle des systèmes à pression négative, mais ils peuvent permettre d'établir un schéma de ventilation dans un local soumis à des pressions statiques neutres ou extrêmement faibles – positives ou négatives selon le cas. Les ventilateurs à pression neutre disponibles dans le commerce – avec ventilateur d'admission et ventilateur d'extraction intégrés et diffuseur – sont efficaces pour les locaux exigeant une circulation d'air interne forcée.

Ce type de ventilateur à pression neutre est également efficace dans un bâtiment à locaux multiples avec caniveaux interreliés et ouverts, car il prévient d'importants échanges d'air entre locaux adjacents. Le registre de mixage sur ce type de ventilateur permet de mélanger partiellement les deux jets d'air (débits entrant et sortant), ce qui assure un réchauffement préalable de l'air et donne un taux de renouvellement d'air inférieur à celui qu'on peut normalement obtenir avec seulement un ventilateur d'extraction équivalent.

Les véritables systèmes à pression positive forcent l'air dans la structure grâce à des ventilateurs. L'air intérieur est ensuite évacué à l'extérieur par une ou plusieurs ouvertures. Les systèmes à pression positive sont rarement utilisés car l'air humide et chaud forcé sur les composants du bâtiment – le bois et les matériaux isolants en particulier – en réduit la résistance, la durabilité et l'efficacité.

1.5 Taux de renouvellement d'air

L'annexe B indique les taux de renouvellement d'air recommandés pour divers types d'animaux d'élevage. Les taux sont fonction des données relatives à la quantité de chaleur et d'humidité produite par les animaux et sont corrigés en fonction de l'expérience pratique des concepteurs de systèmes de ventilation. Par exemple, le maintien d'une bonne qualité de l'air par temps froid dans un local avec de la litière accumulée et une faible densité d'animaux (p. ex. génisses de remplacement) exige une ventilation hivernale additionnelle en plus de celle qui est nécessaire à la maîtrise de l'humidité. De façon similaire, les animaux sensibles et densément logés (p. ex. porcs en pouponnière) ont froid si le débit d'air estival est uniquement basé sur le nombre et le gabarit des animaux et ne tient pas compte du volume d'air que contient le local. Un taux de renouvellement d'air maximal pratique correspond à 60 renouvellements par heure (1 renouvellement d'air par minute) pour ces animaux sensibles. Par ailleurs, des poulets densément logés dans un local dont les plafonds sont hauts exigent un débit d'air additionnel par oiseau pour assurer au moins 1 renouvellement d'air complet par minute et l'évacuation de toute leur énergie thermique au fur et à mesure qu'elle est produite.

Avec la ventilation mécanique, ces taux de renouvellement sont faciles à atteindre si l'on choisit bien les ventilateurs. Avec la ventilation naturelle, le taux de renouvellement effectif est davantage fonction du vent et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Un changement de température ambiante détermine le degré d'ouverture des entrées d'air latérales et des registres des cheminées alors nécessaire. Les orifices de ventilation naturelle sont suffisamment grands pour permettre une bonne circulation d'air durant l'été et peuvent être fermés lorsque le temps est plus froid.

Table des matières

2. Isolation des bâtiments d'élevage 15

2.1 Qu'est-ce qu'un matériau isolant? 15
2.1.1 Pourquoi isoler un bâtiment d'élevage? 16
2.2 Types de matériaux isolants 17
2.2.1 Isolants en vrac 17
2.2.2 Isolants fibreux en nattes 17
2.2.3 Isolants en panneaux rigides 18
2.2.4 Isolants giclés 19
2.3 Pourquoi se forme-t-il de la condensation dans les bâtiments agricoles? 21
2.4 Comment se forme la condensation? 21
2.5 Pare-vapeur 22
2.6 Écrans anti-rayonnement 23
2.7 Jusqu'à quel point doit-on isoler le bâtiment? 25
2.8 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment chauffé 25
2.9 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment non chauffé 26
2.9.1 Économies d'énergie procurées par l'isolation 30
2.9.2 Isolation du plancher 30
2.10 Entretien des matériaux isolants 31
2.10.1 Rongeurs 31
2.10.2 Ténébrions 32
2.10.3 Oiseaux 33

2. Isolation des bâtiments d'élevage

2.1 Qu'est-ce qu'un matériau isolant?

Un matériau isolant est conçu pour restreindre le passage de la chaleur à travers un mur, un plafond ou des fondations. Sa plus ou moins grande résistance à la transmission de la chaleur détermine son coefficient de résistance thermique, appelé valeur R dans le système impérial et valeur RSI dans le système international. Chaque unité de valeur R renvoie à la perte de un BTU (British Thermal Unit) à travers un pied carré du matériau, lorsque le matériau est soumis à une baisse de température de un degré Fahrenheit en une heure. Cela signifie que la valeur R d'un matériau a pour composante la superficie du matériau exposé, la différence de température entre ses deux faces et le temps nécessaire pour que le transfert de chaleur s'effectue.

La formule servant à déterminer la valeur R est la suivante :

$$\text{Valeur R de 1} = \frac{1\ (\text{pi}^2)(^\circ\text{F})(\text{h})}{\text{BTU}}$$

Tableau 2.1 Coefficient de résistance thermique de matériaux courants

Matériau	Valeur R		Valeur RSI	
	Épaisseur du matériau (po)	Valeur R pour l'épaisseur indiquée	Épaisseur du matériau (mm)	Valeur RSI pour l'épaisseur indiquée
Isolants en nattes				
isolant en nattes de fibre minérale	1	3,3	1	0,023
Isolants en vrac				
de fibre de cellulose (soufflé)	1	3,6	1	0,025
de fibre de cellulose (déposé)	1	3,4	1	0,024
de fibre de verre (soufflé)	1	2,9	1	0,020
de fibre de verre (déposé)	1	3,0	1	0,021
de laine minérale (soufflé)	1	3,0	1	0,021
de laine minérale (déposé)	1	3,2	1	0,022
de vermiculite (non traitée)	1	2,3	1	0,016
de vermiculite (traitée)	1	2,5	1	0,017
de sciure sèche ou de rabotures	1	2,3	1	0,016
de paille (sèche, coupée)	1	1,4	1	0,010
Isolants en panneaux rigides				
de fibre de verre (hors-sol)	1	4,4	1	0,031
de fibre de verre (sous le niveau du sol)	1	4,2	1	0,029
de polystyrène expansé (faible densité)	1	3,7	1	0,026
de polystyrène expansé (haute densité)	1	4,0	1	0,028
de polystyrène extrudé (faible densité)	1	4,7	1	0,033
de polystyrène extrudé (haute densité)	1	5,0	1	0,035
de mousse de polyuréthane et de mousse de polysocyanurate	1	6,5	1	0,045
de mousse phénolique (à cellules ouvertes)	1	4,3	1	0,030
de mousse phénolique (à cellules fermées)	1	8,3	1	0,058
Isolants giclés				
en mousse en polyuréthane	1	6,0	1	0,042
en mousse de plastique isocyanurate semi-souple	1	4,3	1	0,030

Source : Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa.

La formule servant à calculer le coefficient de résistance thermique dans le système international (valeur RSI) est la suivante :

$$\text{Valeur RSI de 1} = \frac{K \times m^2}{W}$$

K = degrés Kelvin
m^2 = superficie en mètres carrés
W = watts

Remarque :

- 0 °Celsius = 273,15 °Kelvin; pour convertir des °C en °K, ajouter 273,15 aux °C.
- Le dénominateur ne contient aucune valeur temps, du fait de la présence dans la formule des watts qui intègrent la valeur temps, puisque, par définition, 1 watt = 1 joule/seconde. Pour convertir la valeur R en valeur RSI, multiplier la valeur R par 0,1761.

Plus la valeur R d'un matériau est élevée, plus la résistance à la transmission de la chaleur est grande et meilleures sont les caractéristiques isolantes du matériau. Le coefficient de résistance thermique d'un matériau est exprimé par unité d'épaisseur. Ainsi, un panneau isolant rigide de polystyrène à haute densité a un coefficient de résistance thermique de R 5 par pouce d'épaisseur (valeur RSI correspondante de 0,88 par 25 mm d'épaisseur). Le tableau 2.1 indique le coefficient de résistance thermique (valeur R et valeur RSI) de différents matériaux isolants.

2.1.1 Pourquoi isoler un bâtiment d'élevage?

Comme il est indiqué dans le *chapitre 1 – Principes de ventilation,* à chaque type d'élevage correspond une fourchette de températures optimales garantes de conditions gagnantes. Si les températures s'écartent en plus ou en moins de cette zone de confort optimale, appelée zone thermoneutre, les animaux sont soumis à un stress. Idéalement, le régulateur du système de ventilation veille à ce que la température ambiante reste à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux tout en assurant un renouvellement d'air suffisant pour le maintien d'une bonne qualité d'air.

L'isolation de l'enveloppe du bâtiment vise à réduire au minimum la transmission de la chaleur à travers la structure. Si les déperditions de chaleur ou les gains de chaleur à travers l'enveloppe sont trop grands, le système de ventilation peut difficilement maintenir la température ambiante à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux.

Tous les systèmes de ventilation fonctionnent selon le principe d'un équilibre thermique. Par temps doux, le système de ventilation doit chasser la chaleur produite par les animaux ainsi que la chaleur qui pénètre par l'enveloppe, afin d'éviter une trop grande élévation de la température ambiante. Par temps froid, il doit y avoir un équilibre entre la chaleur produite par les animaux et la chaleur qui se perd par l'enveloppe ainsi que par les sorties d'air du système de ventilation. Sans équilibre thermique, la température ambiante s'écarte de la plage de températures optimales. Dans le cas des bâtiments abritant des animaux moins sensibles comme les bovins ou les chevaux adultes, l'éleveur peut tolérer que la température tombe en-deçà de la zone thermoneutre des animaux si l'épisode est de courte durée. Par contre, le chauffage d'appoint devient une nécessité dans les bâtiments qui abritent des espèces sensibles, si l'on veut éviter que la production n'en souffre.

On peut aussi vouloir isoler un bâtiment d'élevage de bétail ou de volaille pour prévenir la condensation de la vapeur d'eau sur les surfaces intérieures du bâtiment. La respiration du bétail et de la volaille produit continuellement de l'humidité à l'intérieur du bâtiment.

La capacité de l'air à retenir toute cette humidité est en lien direct avec la température ambiante. Plus l'air est froid, moins il peut retenir d'humidité. On appelle point de rosée (100 % d'humidité relative), la température à laquelle la vapeur d'eau commence à se condenser sur les surfaces. Il est primordial de maintenir les températures à l'intérieur des bâtiments au-dessus du point de rosée, afin d'empêcher la vapeur d'eau de se condenser et de passer ainsi à la phase liquide, car à moins que l'eau ne se vaporise à nouveau, le système de ventilation ne peut alors plus extraire

l'humidité du bâtiment. L'humidité reste à l'intérieur, au détriment de la qualité de l'air.

2.2 Types de matériaux isolants

Il y a quatre types de matériaux isolants :

- les isolants en vrac;
- les isolants en nattes (aussi appelés isolants en matelas);
- les isolants en panneaux rigides;
- les isolants giclés.

Le type d'isolant utilisé dépend des conditions d'application et des conditions environnementales que l'on retrouve dans le bâtiment.

2.2.1 Isolants en vrac

Laine minérale en vrac

La laine minérale est vendue en vrac ou ensachée. Sous cette forme, elle est déposée ou soufflée dans des espaces horizontaux peu accessibles comme les vides sous-toit où il serait difficile d'installer des isolants en nattes de format ordinaire.

Vermiculite

La vermiculite est un minéral (du mica) qui, en prenant de l'expansion, un peu comme le maïs soufflé, donne un isolant granulaire léger. On coule la vermiculite dans des espaces clos, notamment dans les cavités des blocs de béton. Mise en garde : certains types de vermiculite renferment de l'amiante, un cancérogène connu. Bien se protéger si l'on manipule de la vermiculite dont on ne sait si elle contient de l'amiante ou non.

Fibre de cellulose

Une fois macérés, la pulpe de bois et le papier journal font une excellente matière isolante en vrac, pourvu qu'elle soit traitée avec des produits chimiques d'ignifugation. On souffle la fibre de cellulose dans les cavités des cloisons ou dans les vides sous-toit (figure 2.1).

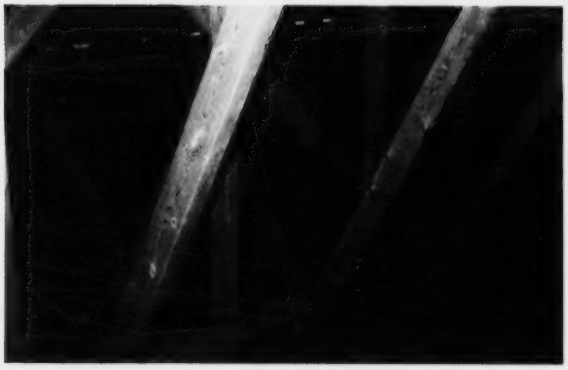


Figure 2.1 Isolant en vrac soufflé dans un vide sous-toit

2.2.2 Isolants fibreux en nattes

Laine minérale et fibre de verre

Ces deux matériaux sont bon marché, sont résistants au feu et offrent une excellente résistance thermique. Ils sont vendus en nattes empilées ou roulées selon leur épaisseur et leur longueur. Les nattes sont offertes en largeurs permettant de les insérer entre des éléments de charpente espacés de 16 ou 24 po (400 ou 600 mm) de centre à centre. Une feuille de papier ou de plastique est parfois collée sur le matériau pour former un pare-vapeur intégré. Dans les bâtiments non chauffés abritant du bétail, on se sert souvent d'isolant en rouleau (p. ex. Agri-plus) qu'on installe au-dessus des lattes des fermes de toit et sous l'acier de couverture.

L'isolant en nattes à friction est une version améliorée de l'isolant en nattes de fibre de verre, car il est plus élastique et renferme un meilleur liant qui élimine la nécessité du papier de recouvrement. Maintenu en place par friction, cet isolant tient mieux entre les montants et solives (figure 2.2) que les anciens matériaux recouverts de papier et a moins tendance à s'affaisser et à se déplacer. Les nattes à friction sont généralement vendues avec un pare-vapeur intégré.

L'isolant Roxul est un isolant de laine de roche incombustible qui supporte des températures supérieures à 1 000 °C (1 832 °F). Il renferme du basalte et du laitier qui, combinés, donnent un produit incombustible qui fait office de pare-feu.

Figure 2.2 Isolant en nattes à friction installé entre les montants d'un mur

2.2.3 Isolants en panneaux rigides

Panneaux rigides de fibre de verre

Ces panneaux isolants rigides sont formés de fibres de verre liées à de la résine. Certains ont un revêtement pare-air intégré qui réduit les infiltrations d'air, d'autres sont protégés par une membrane à l'épreuve de l'eau et servent alors à l'isolation des toitures. On utilise les panneaux isolants rigides de fibre de verre pour l'isolation périmétrique, l'isolation sous le revêtement mural extérieur et l'isolation des couvertures sous les toitures de gravier et d'asphalte. Fiberglass Canada fabrique ce matériau sous les marques « Baseclad » et « Glasclad ».

Panneaux de billes de polystyrène expansé

Ce produit synthétique est constitué de minuscules billes de polystyrène expansé remplies d'air. Le matériau est habituellement coulé par blocs de 4 pi x 8 pi (1 200 mm x 2 400 mm), qui, une fois durcis, sont tranchés en feuilles de ½ à 4 po (13-100 mm) d'épaisseur. Ce matériau blanc, communément appelé styromousse, serait en fait plus correctement appelé panneau de billes de polystyrène expansé. À noter que « Styrofoam » est une marque commerciale de la Dow Chemical Company, qui fabrique également des panneaux de polystyrène extrudé, qui eux sont bleus.

Les panneaux composés de billes de polystyrène sont suffisamment rigides pour supporter le poids de planchers de béton léger que l'on veut isolés dans les bâtiments de ferme, par exemple, sous les cases de parturition chauffées. Comme ce matériau absorbe un peu l'eau, il ne faut pas l'utiliser dans des zones où l'humidité est élevée, à moins de prévoir une protection adéquate.

Polystyrène extrudé

Ce matériau, produit par extrusion, est une forme de polystyrène plus dense et plus rigide qui possède d'excellentes propriétés isolantes (figure 2.3). Étant donné que sous cette forme le polystyrène absorbe peu l'eau, on peut l'utiliser sous le niveau du sol pour isoler les fondations périmétriques, pourvu qu'on le protège des intempéries et des rongeurs. Le polystyrène extrudé est un excellent produit à utiliser dans la construction des murs-sandwichs en béton isolés. Ce matériau est aussi souvent utilisé dans la fabrication des panneaux des entrées d'air. Un usage relativement nouveau de ce matériau est l'isolation visant à protéger les conduites d'eau et les tuyaux de transfert de fumier qui sont enfouis sous terre. On l'utilise également sous les planchers des poulaillers.

Figure 2.3 Panneaux isolants de polystyrène extrudé

Isolant de mousse de polyuréthane rigide

Tout comme la mousse de polystyrène, on utilise la mousse de polyuréthane dans la fabrication de panneaux isolants rigides. L'isolant de mousse de polyuréthane rigide est un matériau alvéolaire à cellules fermées composé de millions de bulles minuscules de moins de 0,02 po (0,5 mm) de diamètre. Avec une densité qui tourne habituellement autour de seulement 2-3 lb/pi^3 (32-48 kg/m^3), c'est un matériau très léger comparativement à d'autres matériaux de construction bien connus comme le bois d'épinette et le béton dont la densité est respectivement de 28 lb/pi^3 (450 kg/m^3) et de145 lb/pi^3 (2 300 kg/m^3).

Sur le plan de la structure, la mousse de polyuréthane ressemble à la mousse de polystyrène, à cette différence près que les alvéoles de la première sont remplies de fréon plutôt que d'air. Étant un meilleur isolant que l'air, le fréon confère à la mousse de polyuréthane une résistance thermique supérieure à celle du polystyrène. Toutefois, le polyuréthane coûte plus cher et son coefficient de résistance thermique diminue graduellement au fur et à mesure que le fréon s'échappe des alvéoles. Les coefficients de résistance thermique indiqués dans le tableau 2.1 pour la mousse de polyuréthane sont ceux du matériau une fois vieilli.

2.2.4 Isolants giclés

Isolant en mousse de polyuréthane pulvérisée en place

Bien des producteurs font appel à des entrepreneurs en isolation qui disposent du matériel voulu pour pulvériser en place la mousse isolante (figue 2.4). L'isolant en mousse de polyuréthane pulvérisée en place est appliqué par couches à l'aide d'un pistolet. La mousse gonfle et durcit rapidement une fois mélangée et pulvérisée, puis elle continue de prendre de l'expansion à un rythme très lent au fur et à mesure qu'elle vieillit. Les surfaces destinées à être recouvertes de mousse doivent être exemptes de graisse, d'huile et de poussières. Un film d'huile aurait pour effet de nuire à l'adhésion du produit sur des surfaces faites notamment de plastique ou de métal galvanisé.

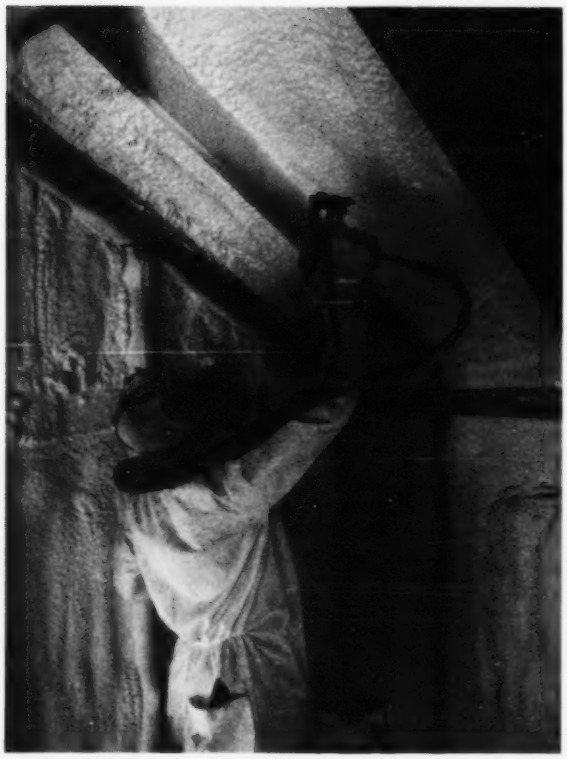


Figure 2.4 Application d'isolant giclé

Ces vingt dernières années, l'isolant giclé en mousse de polyuréthane est devenu le matériau privilégié pour l'isolation de milliers de bâtiments de ferme, y compris des entrepôts de fruits et légumes et des porcheries. La mousse de polyuréthane est hautement inflammable et produit des gaz toxiques en cours de combustion. Pour atténuer les risques qu'elle représente, les codes du bâtiment exigent que son application s'assortisse de l'installation d'une protection contre le feu.

Isolant giclé en fibre de verre

Quand elles sont mélangées avec des liants appropriées, les fibres de verre sont pulvérisées par des pulvérisateurs pneumatiques sur la plupart des surfaces, afin de former une couche isolante ininterrompue. En plus d'être incombustible, ce produit possède un coefficient de résistance thermique élevé, ne contient aucune matière dangereuse, n'est pas toxique et ne dégage aucune odeur durant l'application. Ce produit est vendu sous la marque déposée « Monoglass ».

Le tableau 2.2 présente les avantages et les inconvénients de divers types d'isolants.

Tableau 2.2 Avantages et inconvénients de divers types d'isolant

Type d'isolant	Avantages	Inconvénients
Laine minérale en vrac	• a un faible coût • peut être soufflée dans des endroits difficiles d'accès • s'installe rapidement	• absorbe l'humidité, ce qui réduit passablement son pouvoir isolant
Vermiculite en vrac	• a un faible coût • peut être soufflée dans des endroits peu accessibles • s'installe rapidement	• contient parfois de l'amiante • absorbe l'humidité, ce qui réduit passablement son pouvoir isolant
Fibre de cellulose en vrac	• a un faible coût • peut être soufflée dans des endroits peu accessibles • s'installe rapidement	• s'enflamme facilement, à moins d'être traitée • absorbe l'humidité, ce qui réduit passablement son pouvoir isolant
Isolants de fibre de verre et de laine minérale en nattes	• ont un faible coût • peuvent être empilés ou déroulés entre des montants et autres éléments structuraux • peuvent venir avec un pare-vapeur intégré • sont incombustibles	• doivent être installés à la main • sont difficiles à installer dans des endroits peu accessibles
Panneaux rigides de fibre de verre	• s'utilisent à l'extérieur en raison de leur étanchéité à l'eau	• coûtent cher • peuvent être endommagés par les oiseaux s'ils sont exposés
Panneaux rigides de billes de polystyrène expansé	• peuvent supporter une certaine charge, d'où leur utilisation sous des planchers	• coûtent cher • absorbent l'humidité, ce qui réduit passablement leur pouvoir isolant • peuvent être endommagés par les oiseaux s'ils sont exposés
Panneaux rigides de polystyrène expansé	• possèdent un coefficient de résistance thermique élevé • sont étanches à l'eau • s'utilisent en maints endroits	• coûtent cher • peuvent être endommagés par les oiseaux s'ils sont exposés
Panneaux rigides de mousse de polyuréthane	• possèdent le coefficient de résistance thermique le plus élevé • sont étanches à l'eau	• coûtent cher • voient leur coefficient de résistance thermique diminuer avec le temps à mesure que le fréon s'en échappe • peuvent être endommagés par les oiseaux s'ils sont exposés
Isolant giclé en mousse de polyuréthane	• possède un coefficient de résistance thermique élevé • s'applique facilement et rapidement • s'utilise dans les endroits peu accessibles et sur des surfaces inégales • procure une couche étanche à l'air • peut conférer un peu plus de rigidité à la structure • s'immisce dans les fentes et les interstices qui autrement ne seraient pas isolées • attire peu les rongeurs s'il est appliqué en couches d'au plus 2 po (50 mm), une épaisseur insuffisante pour des nids	• coûte cher • inflammable, à moins d'être traité par un recouvrement de protection • peut nécessiter l'utilisation de produits frigorigènes à base de fluorocarbures qui appauvrissent la couche d'ozone • doit être protégé des rongeurs et des insectes • n'est pas imperméable • ne constitue pas un pare-vapeur parfait • peut être endommagé par les oiseaux s'il est exposé
Isolant giclé en fibre de verre	• s'utilise sur la plupart des surfaces • coûte moins cher que l'isolant giclé en mousse de polyuréthane • ne contient aucune matière dangereuse • est non toxique et inodore	• offre un moins bon coefficient de résistance thermique que l'isolant giclé en mousse de polyuréthane

2.3 Pourquoi se forme-t-il de la condensation dans les bâtiments agricoles?

Les animaux produisent deux sortes de chaleur : de la chaleur sensible et de la chaleur latente. La chaleur sensible (celle que l'on ressent) contribue à garder le bâtiment chaud et peut amener une modification de la température ambiante. La chaleur latente produit de l'humidité, provenant principalement de la respiration des animaux, mais aussi des déjections et des planchers mouillés. Cette vapeur d'eau se diffuse dans l'air ambiant et est évacuée par le système de ventilation, à défaut de quoi, l'humidité relative s'élève à l'intérieur. Comme cet air chargé d'humidité absorbe facilement les odeurs des animaux et de leurs déjections, s'il reste à l'intérieur, il amène une détérioration rapide de la qualité de l'air. Un bon système de ventilation est le moyen le plus efficace d'évacuer l'humidité d'un bâtiment agricole.

Un bâtiment bien isolé et doté d'un pare-vapeur efficace empêche l'humidité présente dans l'air de se condenser sur les murs et au plafond avant d'être évacué à l'extérieur.

2.4 Comment se forme la condensation?

On appelle « point de rosée » la température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser sur une surface (100 % d'humidité relative). La température de toute surface intérieure d'un bâtiment qui n'est pas suffisamment isolé sera à peu près la même que la température à l'extérieur du bâtiment.

La condensation se forme quand l'air ambiant chargé d'humidité frappe une surface dont la température se situe en-deçà de celle du point de rosée. Une fois que la vapeur d'eau s'est condensée et est passée à l'état liquide, le système de ventilation ne peut plus l'évacuer à l'extérieur, à moins que l'eau ne se vaporise à nouveau (ce qui nécessite l'énergie de la chaleur latente) et que la vapeur ne soit acheminée vers une sortie d'air. Le bâtiment doit être suffisamment isolé pour éviter que les surfaces qui se trouvent à l'intérieur n'atteignent le point de rosée.

La condensation favorise la formation de moisissure et de pourriture dans le bâtiment. La détérioration se poursuit jusqu'à ce que la température des surfaces augmente au-dessus du point de rosée de l'air ou jusqu'à ce que le point de rosée de l'air soit abaissé en-deçà de la température des surfaces.

Un pare-vapeur est nécessaire du côté chaud de l'isolant pour empêcher que la vapeur d'eau qui se concentre à l'intérieur ne mouille l'isolant et n'en réduise du coup l'efficacité.

Le degré d'isolation des bâtiments agricoles varie en fonction de l'emplacement géographique et en fonction de la différence estimative entre les températures intérieure et extérieure. L'utilisation du coefficient de résistance thermique (valeur R ou RSI) adapté à la région garantit que les surfaces intérieures du bâtiment demeureront à une température supérieure au point de rosée de l'air et resteront exemptes de condensation. Les figures 2.5 et 2.6 montrent comment un isolant et un pare-vapeur empêchent la condensation de se former sur les surfaces intérieures des bâtiments.

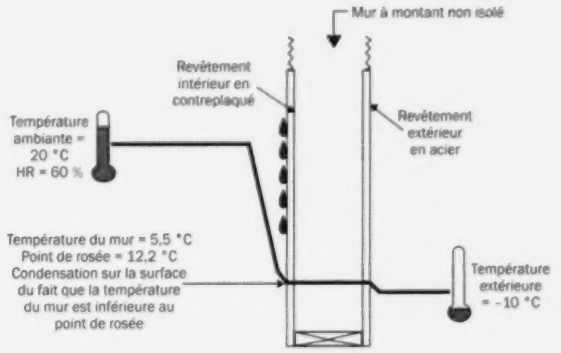


Figure 2.5 Mur à montant dépourvu d'isolant

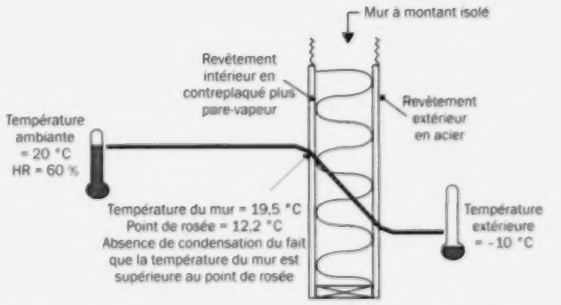


Figure 2.6 Mur à montant avec pare-vapeur et isolant

La condensation et la détérioration des bâtiments agricoles causées par la formation d'humidité sur les murs et les plafonds est un problème beaucoup plus grand encore que les pertes de chaleur durant l'hiver. Quand de la condensation se forme dans des bâtiments à ossature de bois, les murs et les plafonds deviennent saturés d'eau, ce qui en fait des milieux propices à la pourriture (figure 2.7).

Figure 2.7 Murs d'un bâtiment soumis à passablement de condensation

Remarque : Les taches sombres sur le contreplaqué indiquent la présence d'humidité.

2.5 Pare-vapeur

Les matériaux isolants servent à maintenir une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment d'élevage. L'air chaud renferme beaucoup plus d'humidité par unité de poids que l'air froid, ce qui amène une différence de pression de vapeur. Cette différence de pression de vapeur explique que l'humidité ait tendance à migrer à travers les matériaux de construction depuis le côté chaud vers le côté froid.

L'air chaud se condense à l'intérieur du matériau isolant quand il parvient à l'endroit où la température du matériau correspond au point de rosée. Le coefficient de résistance thermique de la plupart des matériaux isolants diminue rapidement quand le matériau est mouillé, ce qui oblige à protéger les matériaux contre l'humidité.

Le moyen le plus pratique d'offrir une protection contre l'humidité est d'installer un pare-vapeur continu du côté chaud du mur ou du plafond (figure 2.8). Dans les bâtiments d'élevage chauffés, le pare-vapeur s'installe à l'intérieur. Dans les entrepôts réfrigérés, le pare-vapeur se place à l'extérieur du bâtiment. Le pare-vapeur est normalement constitué d'un film de polyéthylène clair de 4 mil d'épaisseur. L'utilisation de rouleaux larges permet de réduire au minimum le nombre de joints, joints qu'on doit sceller avec un ruban adhésif pour plastique (Tuck Tape). On agrafe le film pour le maintenir en place en faisant chevaucher chaque lisière à l'emplacement d'un montant ou d'un autre élément de charpente, puis on colle le ruban sur le joint de manière à obtenir un joint étanche à l'eau. On insère les prises de courant dans des gaines de plastique qu'on fixe au pare-vapeur à l'aide de ruban adhésif de manière à former un pare-vapeur continu dans tout le bâtiment.

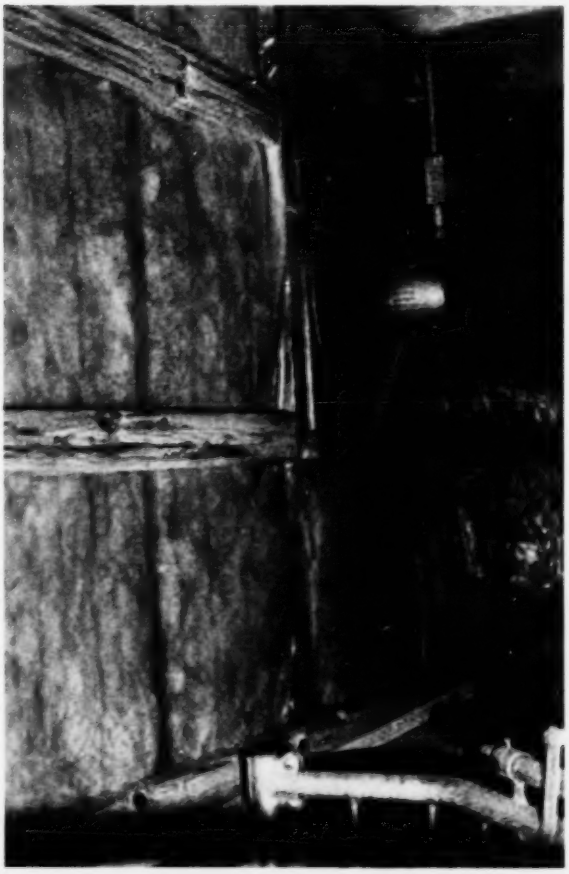


Figure 2.8 Pare-vapeur de plastique installé du côté chaud de l'isolant en nattes dans un bâtiment d'élevage

Un pare-air et un pare-vapeur protègent les matériaux isolants de la condensation et réduit les infiltrations d'air occasionnées par les vents violents et le système de ventilation.

Pour que l'isolation soit efficace, il faut absolument installer un pare-vapeur en plus de l'isolant dans les murs et plafonds. Lorsque seulement l'un de ces deux éléments est présent, une détérioration importante se produit avec le temps dans les environnements humides qui caractérisent les bâtiments d'élevage de bétail et de volaille. Les figures 2.9 et 2.10 illustrent ce qui peut advenir quand un bâtiment chauffé est mal isolé. Le vent qui pénètre dans le vide sous-toit expose alors le pare-vapeur au plafond à la température de l'air à l'extérieur. L'hiver, de la condensation se forme du côté chaud du pare-vapeur, ce qui mouille le contreplaqué posé au plafond. On peut prévenir facilement ce type de dommages en remplaçant l'isolant et en s'assurant qu'il reste en place.

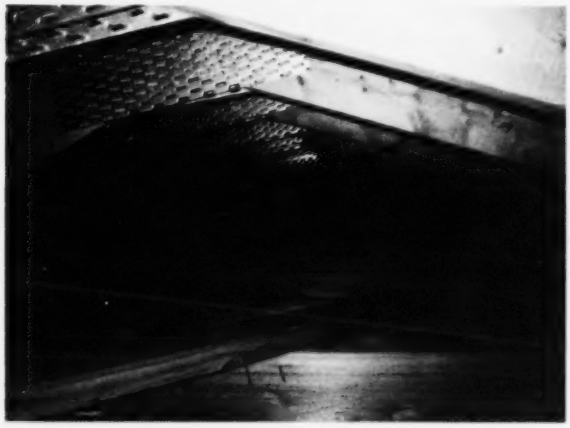


Figure 2.9 Isolant déplacé par le vent

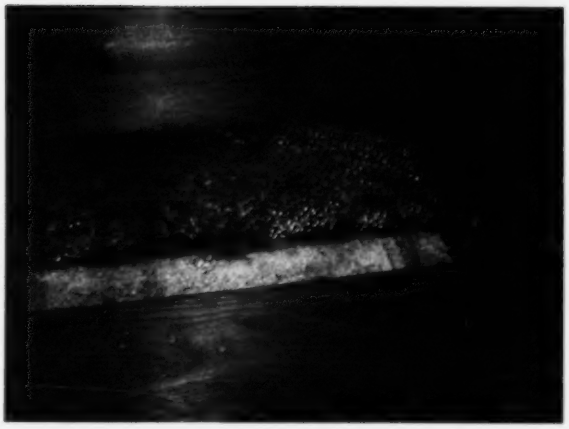


Figure 2.10 Pare-vapeur exposé, à la surface duquel se forme de la condensation

2.6 Écrans anti-rayonnement

Contrairement aux matériaux isolants ordinaires, les écrans anti-rayonnement, comme les feuilles réfléchissantes, affichent un niveau élevé de conductivité thermique et résistent peu à la transmission de chaleur par conduction. Les écrans anti-rayonnement retardent néanmoins la transmission de la chaleur de deux façons : ils réfléchissent l'énergie rayonnante en la repoussant de la surface et réduisent l'émission de rayonnement du côté opposé.

La façon d'évaluer la performance des écrans anti-rayonnement donne lieu à une controverse et à de la confusion dans le secteur du bâtiment, du fait de l'emploi des valeurs R ou de leur équivalent, les valeurs RSI, pour des produits dont l'efficacité à empêcher la transmission de la chaleur repose sur des principes totalement différents. Selon les normes actuelles, les valeurs R constituent la mesure la plus fiable de la résistance des matériaux à la conductivité thermique.

L'évaluation de la performance des écrans anti-rayonnement est plus complexe. Les tests et méthodes employés pour évaluer les isolants ne s'appliquent pas aux écrans anti-rayonnement. Même si les écrans anti-rayonnement ont un haut pouvoir réfléchissant (et une faible émissivité) pour un large spectre électromagnétique, y compris dans la lumière

visible et dans la lumière ultraviolette, ses avantages thermiques se rattachent plutôt à son émissivité dans la lumière infrarouge. Les valeurs d'émissivité sont la norme acceptable en ce qui a trait aux écrans anti-rayonnement. L'efficacité de ces écrans à résister au rayonnement solaire est éprouvée, même si la valeur R qu'on peut leur attribuer les décrit mal.

Les matériaux servant à la fabrication d'écrans anti-rayonnement doivent avoir une faible émissivité (0,1 micromètre ou moins) aux longueurs d'ondes auxquelles ils doivent remplir leur rôle. Dans le cas des matériaux de construction, les longueurs d'ondes se situent entre l'infrarouge moyen et l'infrarouge long dans la fourchette de 3-15 micromètres.

Les écrans anti-rayonnement n'ont pas tous une réflectivité visuelle élevée. C'est que même si la réflectivité et l'émissivité doivent s'additionner pour faire un à une longueur d'ondes donnée, la réflectivité pour une série de longueurs d'ondes précises (visibles) et l'émissivité pour une autre série de longueurs d'ondes (thermiques) ne totalisent pas nécessairement un. Ainsi, est-il possible de créer des surfaces visiblement sombres qui affichent une faible émissivité thermique. Pour fonctionner adéquatement, les écrans anti-rayonnement doivent faire face à un espace ouvert (p. ex. air ou vide) à travers lequel il y aurait normalement du rayonnement.

Types d'écrans anti-rayonnement

Les deux grands types d'écrans anti-rayonnement sont les feuilles réfléchissantes ou autres matériaux situés dans les vides sous-toit (et parfois dans les cavités murales) et les peintures céramique appliquées sur la face extérieure du toit (et parfois des murs).

Feuilles réfléchissantes. Quand l'énergie solaire est absorbée par un toit, elle chauffe le revêtement intermédiaire, ce qui amène le dessous du revêtement intermédiaire et l'ossature du toit à rayonner de la chaleur vers le bas en direction du plancher du vide sous-toit. Quand on pose un écran anti-rayonnement directement sous le matériau de couverture en intégrant un espace d'air, le gros de la chaleur rayonnée du toit chaud se trouve réfléchie vers le toit et, du fait de la faible émissivité du dessous de l'écran anti-rayonnement, très peu de chaleur rayonnante est émise vers le bas. Si bien que la face supérieure du matériau isolant le plafond est plus fraîche qu'elle ne le serait sans l'écran, ce qui réduit la quantité de chaleur qui traverse le matériau isolant et se retrouve à l'intérieur du bâtiment.

Peinture céramique. La plupart de ces produits donnent de meilleurs résultats là où les différences de température sont grandes, en raison de leurs propriétés de transfert de la chaleur rayonnante. La figure 2.11 montre les données enregistrées sur une période de douze jours durant l'été à la Station de recherche sur le porc de l'Université de Guelph à Arkell (Ontario). On a enduit de peinture céramique une section d'un toit revêtu d'acier blanc cassé et on a laissé la section adjacente sans enduit, mais on a pris soin de la nettoyer. On a consigné les températures des surfaces intérieures dans la partie enduite de peinture céramique et dans la partie nettoyée seulement. Le jour, les températures sous la section non enduite atteignaient normalement des maximas de l'ordre de 40-50 °C, tandis que sous la section enduite, les températures sont restées proches des températures extérieures indiquées dans le graphique. La nuit et durant l'hiver, peu de différences ont été observées entre les températures sous les sections enduite et non enduite.

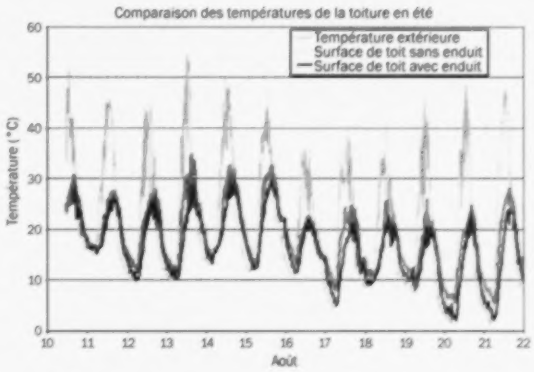


Figure 2.11 Effet de la présence et de l'absence d'un enduit de peinture céramique sur un toit en acier

Applications des écrans anti-rayonnement pour toitures

On trouve sur le marché plusieurs écrans anti-rayonnement qui conviennent à différentes situations. Si l'on vise à réduire les gains de chaleur attribuables au soleil à l'intérieur du bâtiment, un enduit réfléchissant pour toiture peut être indiqué. Il y a des situations où l'utilisation d'un isolant fait de fibre est peu pratique ou peu idiquée du fait que le matériau risquerait de subir des dommages par l'eau, des phénomènes mécaniques ou les rongeurs.

On peut utiliser les enduits de peinture céramique seuls ou les utiliser en plus des matériaux isolants classiques, du pare-vapeur et des installations de refroidissement. La solution adoptée dépendra des besoins particuliers propres à chaque situation.

Sous les conditions climatiques de l'Ontario, les écrans anti-rayonnement ne visent qu'une fraction seulement du total de la charge thermique transférée. On ne sait trop quelles économies les écrans anti-rayonnement permettent de réaliser. Le concepteur de l'installation doit déterminer si des exigences particulières justifient d'inclure ces écrans dans la conception des éléments fonctionnels de la structure.

2.7 Jusqu'à quel point doit-on isoler le bâtiment?

De nombreux facteurs interviennent dans la détermination du degré d'isolation à prévoir pour le plafond, les murs et les fondations périmétriques d'un bâtiment agricole. L'isolation doit toujours être suffisante pour empêcher la condensation de se former sur le revêtement intérieur. Dans un bâtiment d'élevage à stabulation libre avec charpente à poteaux, il faut prévoir une certaine forme d'isolation sous l'acier de la toiture pour prévenir la condensation. Les nuits froides de l'hiver, du givre s'accumule sur la sous-face du matériau de couverture. L'humidité mouille ensuite les poteaux d'ossature, puis de l'eau dégoutte des chevrons sur les animaux, la litière et le matériel qui se trouve en-dessous. Les panneaux de polystyrène sont souvent utilisés pour ce type d'application, mais ils doivent être protégés des dommages causés par les oiseaux.

On dit qu'un bâtiment ne peut jamais être trop isolé. C'est vrai dans la mesure où l'on ne tient pas compte de la période de recouvrement des coûts de l'isolant une fois installé, coûts qui s'ajoutent aux éventuels coûts liés au chauffage d'appoint. La cavité murale et les fermes de toit permettent d'isoler raisonnablement le bâtiment. Dans un bâtiment d'élevage chauffé, le coefficient de résistance thermique doit être d'au moins R 20 (RSI 3,5) dans les murs, R 28 (RSI 4,9) dans le plafond et R 8 (RSI 1,4) sur les fondations périmétriques.

2.8 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment chauffé

Le tableau 2.3 montre les pertes de chaleur observées dans un poulailler de poulets à griller bien isolé, les pertes de chaleur étant indiquées en regard de chacune des sources de pertes de chaleur en BTU/h et en pourcentage du total des pertes. L'exemple porte sur un poulailler d'un seul étage abritant 20 000 oiseaux d'âges différents une journée d'hiver où le mercure marque -20 °C. Dans le cas des oiseaux très jeunes, environ 40 % de la chaleur se perd par l'enveloppe du bâtiment, le reste étant évacué par les ventilateurs d'extraction. Au fur et à mesure que les oiseaux grossissent, le taux de renouvellement d'air s'accroit et la température de la pièce est abaissée, de sorte que moins de chaleur s'échappe par l'enveloppe du bâtiment et que les pertes attribuables à la ventilation représentent de 42 à 83 % du total. Il est intéressant de noter que le besoin de chaleur d'appoint est maximal au jour 14 plutôt qu'au jour 1 en raison du taux de renouvellement d'air accru nécessaire à l'évacuation de toute l'humidité produite par les oiseaux en croissance.

Étant donné que la chaleur monte, les plus grandes pertes de chaleur par l'enveloppe se font la plupart du temps par le plafond. Dans ce cas-ci, toutefois, comme il fait très chaud à l'intérieur du poulailler et que le plafond est très bien isolé (R 30), la perte de chaleur par le plancher est plus grande, le seul matériau isolant sur le plancher étant la litière de paille (R 7,5). Ces deux sources de pertes de chaleur s'équivalent presque, une fois que la température de

Tableau 2.3 Analyse des pertes de chaleur dans un poulailler de poulets à griller bien isolé

Source de perte de chaleur	Jour 1, 32 °C, 50 % d'HR		Jour 14, 29 °C, 56 % d'HR		Jour 28, 24 °C, 62 % d'HR	
	BTU/h	% du total des pertes	BTU/h	% du total des pertes	BTU/h	% du total des pertes
Murs extérieurs (R 20)	28 600	5,9	26 750	4,0	24 300	2,7
Plafond (R 30)	56 400	11,7	52 800	8,0	48 000	5,4
Portes (R 4)	7 050	1,5	6 600	1,0	6 000	0,7
Fondations (R 5)	20 550	4,3	18 050	2,7	14 700	1,7
Plancher (litière R 7,5)	84 000	17,4	69 600	10,5	50 400	5,7
Ventilateurs à l'arrêt	5 200	1,1	4 900	0,7	4 450	0,5
Enveloppe au total	201 800	41,9	178 700	27,0	147 850	16,7
Ventilateurs	280 850	58,2	482 800	73,0	739 150	83,3
Total des pertes de chaleur	482 650	100,0	661 500	100,0	887 000	100,0
Gains thermiques attribuables aux oiseaux	16 050		127 650		421 200	
Équilibre thermique	-466 600		-533 850		-465 800	

Calculs effectués par Fanvent 3.0, le programme de conception des systèmes de ventilation offert (en anglais seulement) par le MAAARO, pour un poulailler de 60 pi x 300 pi x 9 pi abritant 20 000 oiseaux.
Température extérieure de calcul = -20 °C; taux de renouvellement d'air le jour 1 = 1 600 pi³/min, le jour 14 = 2 500 pi³/min, le jour 28 = 7 500 pi³/min.
Isolation du plancher = litière seulement, ventilateurs à l'arrêt considérés comme des fenêtres à double vitrage.

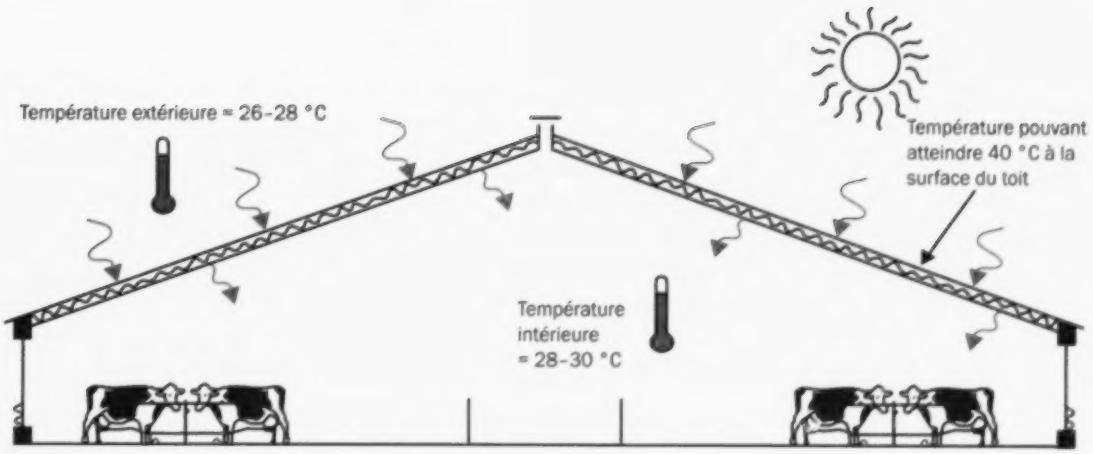
la pièce est abaissée à 24 °C. L'ajout d'isolation sous le plancher (d'un minimum de R 7,5) réduit de moitié les pertes de chaleur par le plancher (tableau 2.5).

2.9 Isolation et pertes de chaleur – Bâtiment non chauffé

Même les locaux d'élevage non chauffés méritent d'être isolés. Les figures 2.12 et 2.13 illustrent les bienfaits de l'isolation par temps très chaud. Sans isolation, comme le montre la figure 2.13, la toiture et le plafond deviennent beaucoup plus chauds. Ces surfaces chaudes émettent à leur tour de la chaleur que les animaux ressentent alors beaucoup plus que dans un local d'élevage isolé.

Dans bien des cas, l'ambiance de ces locaux commence à s'apparenter à celle d'un four. La température qui y règne est beaucoup plus élevée qu'à l'extérieur dans un endroit ombragé (à l'ombre d'un arbre par exemple). Cette élévation de la température est attribuable au rayonnement thermique du toit ou du plafond auquel les animaux et leur environnement sont exposés. Les animaux, à leur tour, voient leur température corporelle augmenter. Ils irradient à leur tour de la chaleur, ce qui contribue à faire augmenter la température ambiante.

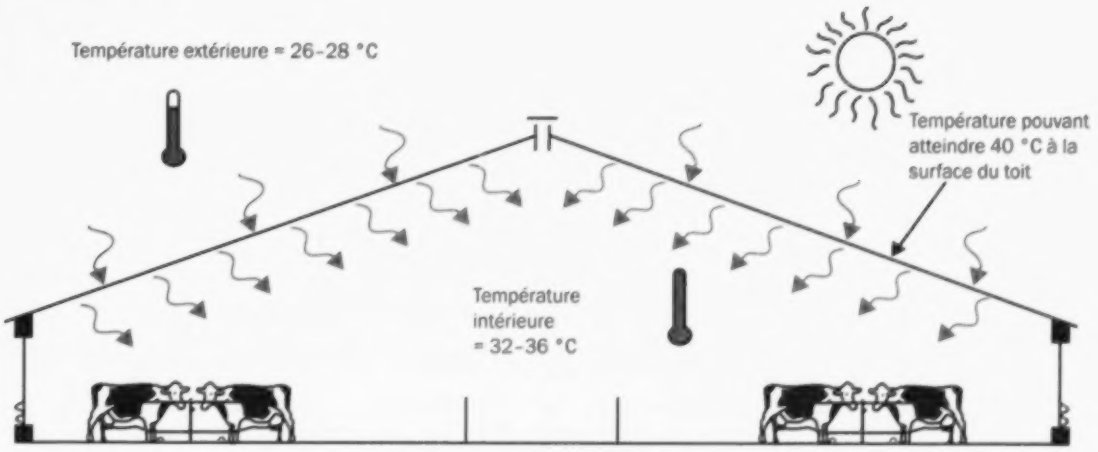
Les figures 2.14 et 2.15 illustrent ce qui se passe l'hiver. La figure 2.14 montre un bâtiment isolé présentant peu de déperditions de chaleur et aucun problème de condensation. Prenons l'exemple d'une étable laitière à stabulation libre dans laquelle la température moyenne est de 7 °C et l'HR de 70 % les journées froides de l'hiver. Si la température d'une surface se trouvant à l'intérieur s'abaisse à 1,5 °C (point de rosée) ou même davantage, la vapeur d'eau contenue dans la masse d'air se condensera sur cette surface et y laissera de l'eau. Une fois la vapeur d'eau à l'état liquide, la ventilation ne peut plus l'évacuer à l'extérieur du bâtiment, ce qui empêche le maintien d'un taux d'humidité raisonnable. Les surfaces de bois et de métal qui sont en contact prolongé avec de l'eau subissent une détérioration, par la pourriture et par la rouille respectivement. Si la



- isolant sous le toit
- très peu de chaleur rayonnante
- température plus fraîche
- confort accru
- animaux protégés de la chaleur rayonnante se dégageant du toit métallique chaud

La température à l'intérieur du bâtiment reste proche de la température extérieure

Figure 2.12 Avantages de l'isolation par temps chaud

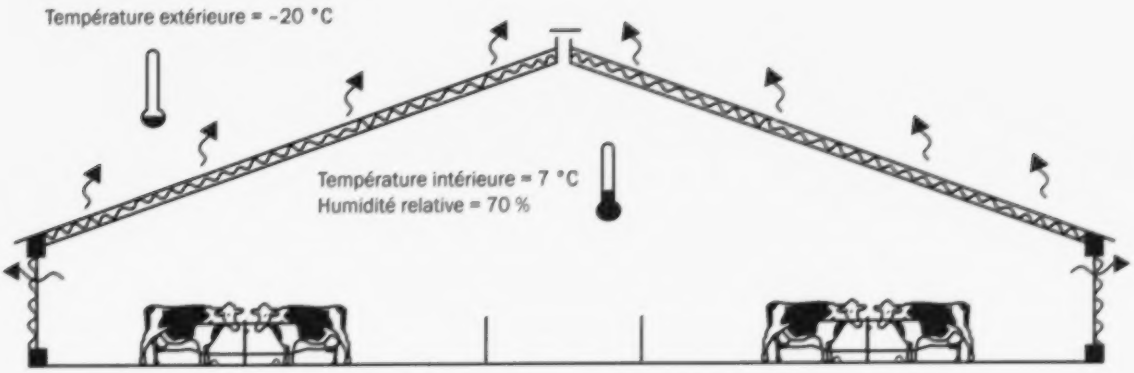


- absence d'isolant sous le toit
- beaucoup de chaleur rayonnante
- chaleur dégagée par le toit de métal
- élévation de la température à l'intérieur
- inconfort

La température à l'intérieur du bâtiment s'élève

Figure 2.13 Répercussions de l'absence d'isolation sur le confort et la température interne des animaux

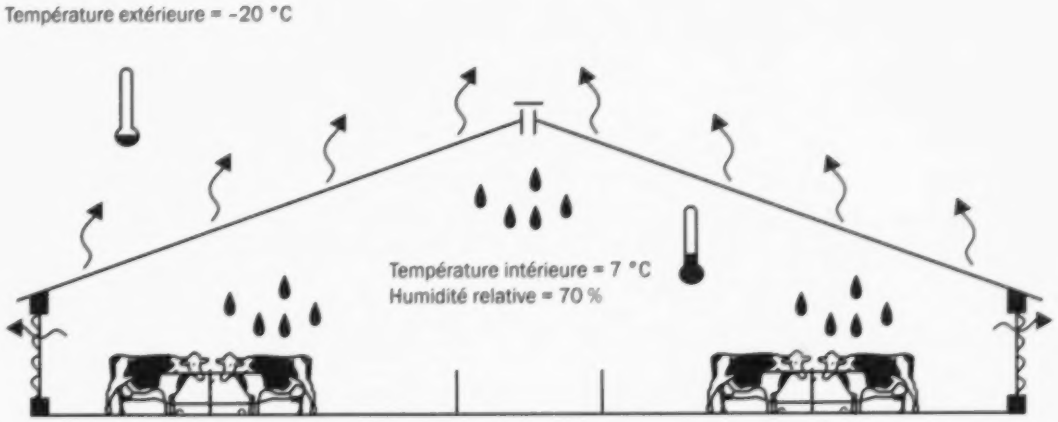
température des surfaces tombe à 0 °C ou moins, ce qui est fréquent l'hiver, l'absence d'isolation provoque l'apparition de givre, puis d'eau qui dégoutte quand le temps s'adoucit et entraîne le passage de la phase solide à la phase liquide. Cette eau qui dégoutte peut poser des problèmes de santé aux animaux en plus d'endommager de façon permanente les éléments du bâtiment. L'installation d'isolant ayant un coefficient de résistance thermique d'aussi peu que R 5 (RSI 0,9) suffit généralement à garder la température des surfaces



- isolant sous le toit
- absence de condensation
- confort accru
- absence quasi-totale de givre

Les surfaces à l'intérieur du bâtiment sont à plus de 2 °C (point de rosée)

Figure 2.14 Avantages de l'isolation par temps froid



- absence d'isolant sous le toit
- condensation, eau qui dégoutte, brouillard
- métal qui rouille
- déjections et eau qui gèlent
- sensation de froid

Les surfaces à l'intérieur du bâtiment tombent à moins de 2 °C (point de rosée), cause de condensation, d'eau qui dégoutte et même d'eau qui gèle.

Figure 2.15 Répercussions de l'absence d'isolation par temps froid

intérieures au-dessus du point de rosée (plus près de la température ambiante recherchée) et à prévenir les problèmes de condensation.

La température ressentie dans la structure non isolée de la figure 2.15 est plus froide qu'elle ne l'est en réalité en raison du froid provenant du toit et du plafond qui amène un accroissement des pertes de chaleur par rayonnement provenant des animaux, chaleur qui entre ensuite en contact avec les surfaces non isolées du bâtiment. L'absence d'isolation expose le bâtiment à des périodes de gel plus longues et à des risques accrus de gel des conduites d'eau et du système de transfert du fumier.

Le tableau 2.4 donne le point de rosée pour différentes combinaisons de température ambiante et d'HR qu'on retrouve dans les locaux d'élevage non chauffés. L'isolation doit être suffisante pour garder la température de toutes les surfaces à l'intérieur des locaux au-dessus du point de rosée indiqué.

Tableau 2.4 Point de rosée

Température ambiante	Humidité relative dans les locaux		
	60 %	70 %	80 %
10 °C	2,5 °C	4,6 °C	6,5 °C
7 °C	-0,3 °C	1,8 °C	3,9 °C
5 °C	-2,0 °C	0,0 °C	1,8 °C
3 °C	-3,6 °C	-1,9 °C	-0,2 °C
0 °C	-6,2 °C	-4,5 °C	-2,8 °C

Source : Psychrometric Chart, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), 1963.

Ce tableau montre qu'indépendamment de la température ambiante recherchée, plus la ventilation est efficace, plus l'HR diminue et plus la température peut s'abaisser avant que des problèmes de condensation ne se manifestent. Il reste qu'il y a toujours de ces journées particulièrement humides où l'air frais entrant est déjà presque saturé d'eau et où, si l'on ajoute l'humidité produite par les animaux, même une faible baisse de température provoquera inévitablement de la condensation sur les surfaces. Un minimum d'isolation permet de réduire la fréquence de cette éventualité.

Exemple : Avantages de l'isolation

Prenons un bâtiment clos, non chauffé (abritant, par exemple, des bovins de boucherie, des moutons ou des bovins laitiers) qui n'est pas isolé. Quelles sont les répercussions de la condensation sur la structure et que se produit-il si l'on ajoute de l'isolation?

Remarque :

- Température à l'extérieur = 0 °C
- Température ambiante = + 8 °C, HR de 75 %
- Température de la sous-face de la toiture non isolée = 2 °C
- Température de la sous-face de la toiture isolée = 7 °C
  - Si, dans un bâtiment non isolé, la température d'une surface intérieure est de 2 °C et que, compte tenu de la température ambiante de 8 °C et de l'HR de 75 %, le point de rosée se situe à :
    - + 3,3 °C, selon le diagramme psychrométrique (ASHRAE, 1963; voir annexe F),
    - il se formera de la condensation en permanence sur la sous-face du toit puisque sa température, de + 2 °C, est inférieure au point de rosée.
  - Si, dans un bâtiment isolé, la température d'une surface intérieure est de 7 °C et que, compte tenu de la température ambiante de 8 °C et de l'HR de 75 %, le point de rosée se situe à :
    - + 3,3 °C, selon le diagramme psychrométrique (ASHRAE, 1963; voir annexe F),
    - il ne se formera jamais de condensation sur la sous-face du toit puisque sa température, de + 7 °C, est supérieure au point de rosée.

2.9.1 Économies d'énergie procurées par l'isolation

Le tableau 2.3 montre que même avec une bonne isolation thermique, entre 20 et 40 % de l'énergie thermique se perd par l'enveloppe du bâtiment. Si le même bâtiment devient infesté d'insectes ou de rongeurs qui endommagent les matériaux isolants ou si le bâtiment est mal isolé, une analyse semblable des pertes de chaleur aboutit aux données présentées dans le tableau 2.5.

Même si la chaleur qui se perd par l'enveloppe augmente de 38 ou 39 %, l'augmentation globale des frais de chauffage de ce poulailler se situe entre 13 et 16 %.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Un bâtiment mal isolé s'accompagne de frais de chauffage plus élevés. L'écart varie selon l'application et le degré d'isolation réel, mais il peut se situer entre 10 et 20 %.

2.9.2 Isolation du plancher

Dans les poulaillers, il est fréquent qu'un matériau isolant soit installé sous le plancher de béton. Une démarche économique et écologique pour bien des bâtiments d'élevage consiste à isoler aussi les ouvertures de fenêtres et de portes. Les avantages de l'isolation sous le plancher d'un poulailler sont les suivants :

- confort accru de la volaille étant donné que la température du plancher s'apparente à la température ambiante;
- condensation réduite ou complètement éliminée si les planchers sont préchauffés avant l'ajout de la litière;
- qualité accrue de la litière du fait que celle-ci est plus chaude et moins soumise à la condensation;
- petite réduction des frais de chauffage annuels.

Tableau 2.5 Comparaison des pertes de chaleur enregistrées dans un poulailler de poulets à griller selon qu'il est bien isolé ou mal isolé

Source de perte de chaleur (valeur R réduite)	Jour 1, 32 °C, 50 % d'HR			Jour 14, 29 °C, 56 % d'HR		
	Bien isolé	Mal isolé	Hausse des pertes de chaleur	Bien isolé	Mal isolé	Hausse des pertes de chaleur
Murs extérieurs (R 20 c. R 12)	28 600	47 650	67 %	26 750	44 600	67 %
Plafond (R 30 c. R 20)	56 400	84 600	50 %	52 800	79 200	50 %
Portes (R 4 c. R 4)	7 050	7 050	0 %	6 600	6 600	0 %
Fondations (R 5 c. R 3)	20 550	29 650	44 %	18 050	26 250	45 %
Plancher (litière) (R 7,5 c. R 6)	84 000	105 000	25 %	69 600	87 000	25 %
Ventilateurs à l'arrêt	5 200	5 200	0 %	4 900	4 900	0 %
Enveloppe au total	**201 800**	**279 150**	**38 %**	**178 700**	**248 550**	**39 %**
Ventilateurs	280 850	280 850	0 %	482 800	482 800	0 %
Total des pertes de chaleur	482 650	560 000	16 %	661 500	731 350	11 %
Gains thermiques attribuables aux oiseaux	16 050	16 050	0 %	127 650	127 650	0 %
Équilibre thermique	**-466 600**	**-543 950**	**16 %**	**-533 850**	**-603 700**	**13 %**

Calculs effectués par Fanvent 3.0, le programme de conception des systèmes de ventilation offert (en anglais seulement) par le MAAARO, pour un poulailler de 60 pi x 300 pi x 9 pi abritant 20 000 oiseaux.
Température extérieure de calcul = -20 °C; taux de renouvellement d'air le jour 1 = 1 600 pi³/min, le jour 14 = 2 500 pi³/min, le jour 28 = 7 500 pi³/min.
Isolation du plancher = litière réduite seulement, ventilateurs à l'arrêt considérés comme des fenêtres à double vitrage.

L'isolation du plancher du poulailler décrit dans les tableaux 2.3 et 2.5 avec des panneaux de polyuréthane rigides d'une valeur R de 7,5 une fois installés modifie l'équilibre thermique tel qu'il est indiqué dans le tableau 2.6. Même si les déperditions de chaleur par l'enveloppe du bâtiment sont importantes, elles n'ont pas autant de répercussions sur les pertes de chaleur totales qu'en ont les pertes de chaleur par la ventilation. La réduction nette des pertes de chaleur obtenue grâce à l'isolation du sous-plancher est d'environ 10 % le jour 1 d'un élevage en plein hiver et diminue au fur et à mesure de la croissance des oiseaux. L'avantage n'est plus que de 2 % au moment où les oiseaux atteignent l'âge de six semaines. Pour le poulailler dont il est question dans l'exemple, l'économie d'énergie associée à l'installation d'isolant sous le plancher s'élève à 5 %.

Tableau 2.6 Avantages de l'isolation sous le plancher d'un poulailler de poulets à griller bien isolé

Âge des oiseaux	Réduction des pertes de chaleur par l'enveloppe grâce à l'isolation sous la dalle	Réduction des pertes de chaleur totales grâce à l'isolation sous la dalle
Jour 1	23,6 %	9,9 %
Jour 14	22,0 %	6,0 %
Jour 28	19,3 %	3,2 %
Jour 42	17,4 %	2,1 %
Moyenne	20,6 %	5,3 %

Calculs effectués par Fanvent 3.0, le programme de conception des systèmes de ventilation offert (en anglais seulement) par le MAAARO, pour un poulailler de 60 pi x 300 pi x 9 pi abritant 20 000 oiseaux. Température extérieure de calcul = -20 °C; taux de renouvellement d'air le jour 1 = 1 600 pi³/min, le jour 14 = 2 500 pi³/min, le jour 28 = 7 500 pi³/min, le jour 42 = 11 000 pi³/min.
Isolation du plancher = isolant en panneaux rigides d'une valeur R de 7,5 + litière d'une valeur R de 7,5.

Quand l'isolant est peu coûteux ou gratuit et que les coûts de main-d'œuvre pour l'installation sont le seul élément devant être capitalisé, la période de récupération de l'investissement associée à l'économie d'énergie est très raisonnable. Si l'on installe un isolant ordinaire à l'épreuve de l'eau, la période de récupération sera plus longue.

2.10 Entretien des matériaux isolants

2.10.1 Rongeurs

Empêcher les rats, souris et mulots d'endommager l'isolant posé sur les fondations périmétriques ou de pénétrer dans les cavités des murs et dans le vide sous-toit. La plupart des isolants n'ont aucune valeur nutritive pour les rongeurs, ce qui n'empêche pas ces derniers de les endommager gravement en y creusant des galeries, en les grignotant et en y faisant des nids. Les sommes et les efforts supplémentaires investis pour protéger les bâtiments agricoles contre les rongeurs sont justifiés, car ils préviennent la diminution du coefficient de résistance thermique des bâtiments, l'augmentation des fuites d'air et l'augmentation de la consommation et du gaspillage d'aliments pour animaux (figure 2.16).

L'utilisation de murs-sandwichs en béton, c.-à-d. de murs dans lesquels un panneau rigide d'un isolant est pris en sandwich entre deux couches de béton, est un bon moyen de protéger des rongeurs l'isolant utilisé dans les murs.

Figure 2.16 Poulailler infesté de souris

Source : David Shapiro, DVM, Dipl. ACPV, Director of Veterinary Services, Perdue Farms, Inc., Salisbury, Maryland, USA.

Il existe un certain nombre de moyens d'empêcher les rongeurs de pénétrer dans les bâtiments agricoles.

- S'assurer que les parements intérieur et extérieur sont bien installés et qu'ils ne contiennent aucune ouverture donnant accès au mur ou au plancher, particulièrement au niveau du sol.
- Installer un solin de métal pour fermer les ouvertures aux extrémités des nervures des parements métalliques à nervures verticales, et des cornières d'acier fermant les ouvertures aux extrémités des nervures des parements métalliques à nervures horizontales, afin d'ôter tout accès aux rongeurs. Ne laisser exposée aucune extrémité des parements en bois que les rongeurs pourraient grignoter pour pénétrer dans le bâtiment.
- Veiller à ce que les rongeurs n'aient aucune chance de pénétrer dans le vide sous-toit par les murs latéraux ou par les murs d'extrémité.
- Veiller à ce que chaque vide entre colombages constitue un compartiment distinct d'au plus 10 pi (3 m) à la verticale et 20 pi (6 m) à l'horizontale. On peut se servir entre autres de fourrures de bois pour bloquer le chemin aux rongeurs et les empêcher de circuler d'un vide entre colombages à un autre.

2.10.2 Ténébrions

Les ténébrions sont de petits coléoptères d'un noir profond répandus presque partout en Amérique du Nord (figure 2.17). Ils se nourrissent principalement d'herbes, de brindilles et de feuilles en décomposition, mais en tant que détritiphages généralistes, ils se nourrissent aussi de cadavres d'insectes, de fèces et de grain.

Figure 2.17 Ténébrions dans un poulailler qui en est infesté

Source : David Shapiro, DVM, Dipl. ACPV, Director of Veterinary Services, Perdue Farms, Inc., Salisbury, Maryland, USA.

On sait que les ténébrions envahissent les poulaillers principalement pour l'humidité, les matières fécales et la moulée qu'on y trouve. Ces infestations sont problématiques pour un certain nombre de raisons :

- Les ténébrions se reproduisent très rapidement de sorte qu'ils forment des populations importantes qui consomment des quantités appréciables de moulée.
- Les ténébrions sont porteurs de maladies qui sont transmises aux oisillons alors que ceux-ci les mangent dans les premiers stades de croissance.
- Les ténébrions creusent des galeries dans les matériaux isolants qui se trouvent dans les murs des poulaillers. Ils sont particulièrement attirés par les isolants en mousse de polyuréthane et les isolants en panneaux rigides. Les dommages qu'ils causent abaissent le coefficient de résistance thermique de ces matériaux.

Il faut savoir que ces isolants tirent leur pouvoir isolant des petites bulles d'air emprisonnées dans le matériau. Quand les ténébrions y creusent des galeries et des nids, ils créent des trajectoires que la chaleur et l'air humide empruntent pour s'immiscer dans des zones plus froides sujettes à la condensation. La figure 2.18 montre une image infrarouge des dommages causés par les ténébrions. Les taches claires et les longues lignes horizontales sont les endroits où les ténébrions ont mâchouillé le matériau isolant et créé des voies par lesquelles l'air chaud s'échappe par temps froid, ou pénètre par temps chaud.

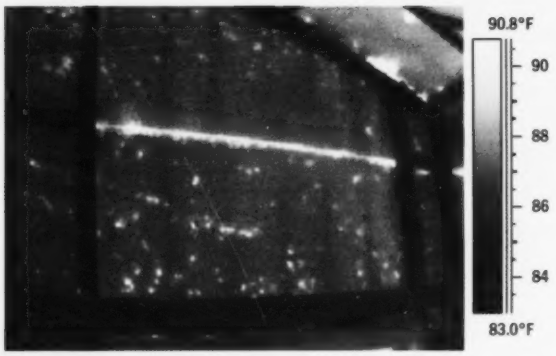


Figure 2.18 Image thermique d'un mur isolé à l'aide d'un panneau rigide infesté de ténébrions

Source : David Shapiro, DVM, Dipl. ACPV, Director of Veterinary Services, Perdue Farms, Inc., Salisbury, Maryland, USA.

On maîtrise les ténébrions à l'aide de pesticides commerciaux conçus spécifiquement pour être utilisés dans des locaux d'élevage.

2.10.3 Oiseaux

Les oiseaux posent un certain nombre de problèmes aux producteurs. Ils utilisent les matériaux isolants ou les enlèvent pour se faire des nids (figure 2.19), laissent derrière eux des fientes qui nuisent à la qualité des produits et qui abritent des maladies pouvant se propager au bétail ou à la volaille. Voici ce qui peut être fait pour tenir les oiseaux à distance et les empêcher de causer des dommages :

- Éliminer les perchoirs potentiels à l'intérieur et autour des bâtiments et installer des grillages.
- Empêcher les oiseaux d'entrer dans les locaux d'élevage en installant des grillages de protection contre les oiseaux sur les prises d'air de soffite et les évents de toit (figure 2.20). Utiliser des grillages plus petits que 1 po x 1 po (2,54 cm x 2,54 cm), sans toutefois choisir des grillages trop fins qui nuiraient à la circulation de l'air dans le vide sous-toit si celui-ci sert de plénum d'approvisionnement en air frais.
- Empêcher les oiseaux d'entrer en gardant autant que possible les portes fermées.
- Recouvrir les matériaux isolants de grillage ou de moustiquaire.

Figure 2.19 Dommages causés par les oiseaux à un matériau isolant non protégé dans une étable laitière

Figure 2.20 Grillage d'acier galvanisé de 1 po x 1 po au-dessus des prises d'air de soffite

Table des matières

3. Entrées d'air frais 37

3.1 Introduction 37
3.2 Rôles des entrées d'air 37
3.3 Prises d'air et entrées d'air 37
3.4 Types d'entrées d'air 41
3.4.1 Principe de fonctionnement des entrées d'air 42
3.4.2 Obstacles à l'écoulement de l'air 44
3.4.3 Mélange de l'air 44
3.4.4 Réglage des entrées d'air 49
3.4.5 Autres types d'entrées d'air 51
3.4.6 Exemple de dimensionnement des entrées d'air dans une pouponnière à veaux 58
3.5 Exemple de dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure dans un poulailler de poulets à griller 65

3. Entrées d'air frais

3.1 Introduction

Les bâtiments abritant des animaux d'élevage doivent être convenablement ventilés, condition essentielle au maintien d'animaux productifs et en santé. On obtient une bonne ventilation en prenant de l'air frais extérieur et en le mélangeant avec l'air ambiant intérieur, de manière à diluer les matières contaminantes que ce dernier contient et à repousser vers l'extérieur une partie de l'air ainsi mélangé. Les entrées d'air du système de ventilation doivent être conçues de façon que l'air frais soit distribué uniformément dans l'ensemble du bâtiment, sans créer de courants d'air. Les courants d'air nuisent à la santé et au comportement de la plupart des animaux et doivent donc être évités, sauf en période de canicule ou de stress attribuable à la chaleur.

3.2 Rôles des entrées d'air

Procurer en tout temps un apport suffisant d'air frais dans le bâtiment. Par temps froid, un peu d'air frais suffira pour procurer aux animaux tout l'oxygène dont ils ont besoin, en plus de réduire le taux d'humidité intérieur et d'éliminer les odeurs. Par temps chaud, il faudra au contraire des volumes importants d'air frais pour garder la température au niveau souhaité. C'est la raison pour laquelle la taille des entrées d'air doit être réglable.

Acheminer l'air frais à chacun des enclos. Chaque animal doit être traité également et recevoir un volume suffisant d'air frais. Dans de nombreux systèmes d'élevage, les animaux sont confinés à un endroit précis et ne peuvent se déplacer librement.

Orienter l'écoulement de l'air. Pendant la plus grande partie de l'année, l'air provenant de l'extérieur est plus froid et plus dense que l'atmosphère ambiante souhaitée à l'intérieur du bâtiment. Cet air extérieur aura donc tendance à migrer vers le sol, d'où la nécessité de diriger le flux d'air à l'horizontale, près du plafond, pour qu'il ait le temps de se réchauffer et ne se transforme pas en courant d'air descendant.

Créer un rapide flux d'air à l'entrée. On permet ainsi à l'air frais de s'enfoncer profondément dans le local, ce qui favorise un bon brassage avec l'air ambiant et la formation d'un circuit de circulation en boucle qui seul peut assurer une ventilation complète.

3.3 Prises d'air et entrées d'air

Dans le présent manuel, l'expression « prises d'air » s'entend des ouvertures pratiquées dans l'enveloppe extérieure d'un bâtiment pour permettre à l'air frais d'y pénétrer. Ces prises d'air sont faites dans un mur, à l'abri d'un auvent, ou sont aménagées dans un vide sous-toit, d'où l'air frais est acheminé à travers le plafond vers le local à ventiler. Elles doivent être dimensionnées de manière à laisser passer le volume d'air frais requis. Les entrées d'air quant à elles sont situées sur la face intérieure des prises d'air et permettent de régler le volume, la vitesse et la direction de l'air frais entrant. Le contrôle du débit d'air entrant dans le bâtiment se fait au niveau de l'entrée d'air, et non en un point quelconque de la prise d'air.

L'arrivée de l'air aux prises d'air doit être libre de tout obstacle. Le système de ventilation doit par ailleurs être conçu de façon à offrir une section transversale nette d'au moins 2 pi^2 pour chaque tranche de 1 000 pi^3/minute de ventilation requise en été. La prise d'air doit être dimensionnée de manière à compenser :

- l'augmentation de la traînée atmosphérique attribuable aux variations de la direction du vent,
- les irrégularités ou les rugosités de la surface interne des conduits d'air,
- l'effet de bord des fermes de toit et des poteaux de mur,
- le ralentissement causé par les grillages de protection.

Les prises d'air sont souvent installées à l'abri des débords de toit, sur un ou deux murs latéraux. L'air frais entre directement par une ouverture dans le mur, ou il emprunte un conduit passant par le vide sous-toit. Ces ouvertures doivent être protégées du vent et des rafales de neige. En effet, le vent, selon

son orientation, peut entrer directement dans la prise d'air, créer une pression positive sur le côté face au vent du bâtiment et entraîner ainsi une surventilation. Le vent peut aussi provoquer une pression négative sur le côté sous le vent du bâtiment et contrarier la poussée de l'air exercée par les ventilateurs. Dans tous les cas, il faudra à tout le moins protéger ces ouvertures au moyen d'un auvent et installer un panneau pare-vent sur le mur, sous l'auvent, comme le montrent les figures 3.1 à 3.3.

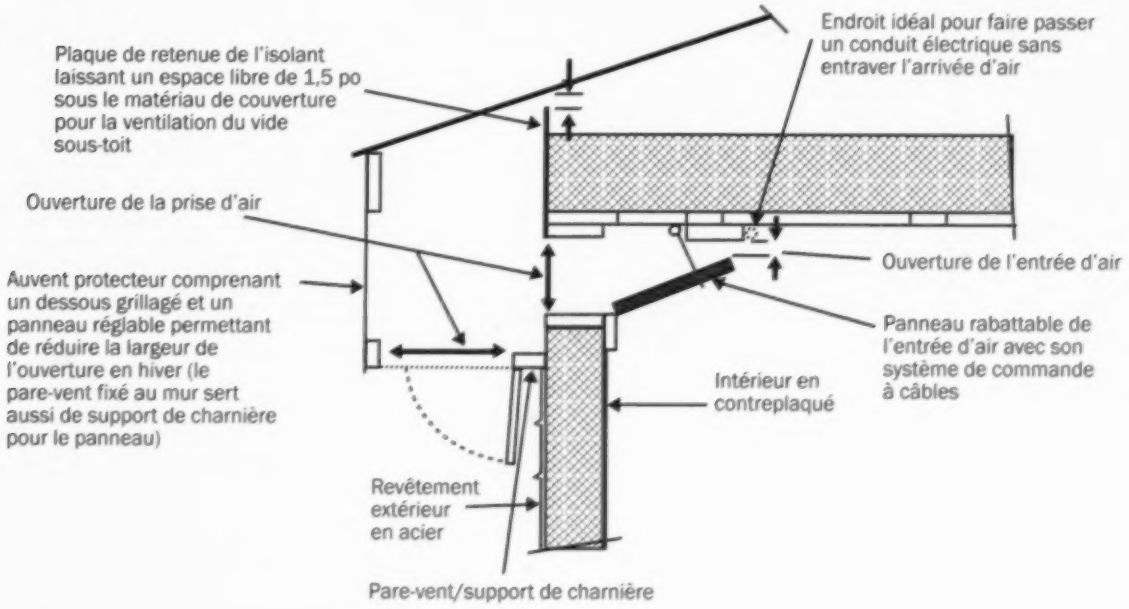


Figure 3.1 Prise d'air aménagée dans un mur

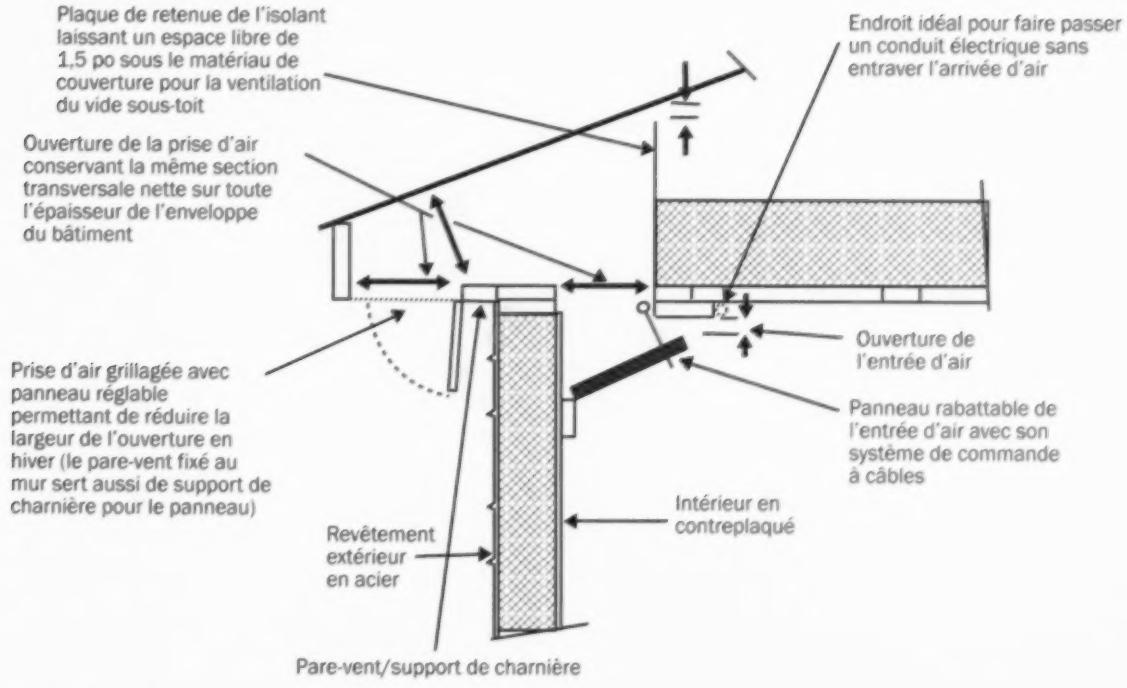


Figure 3.2 Prise d'air passant par le plafond

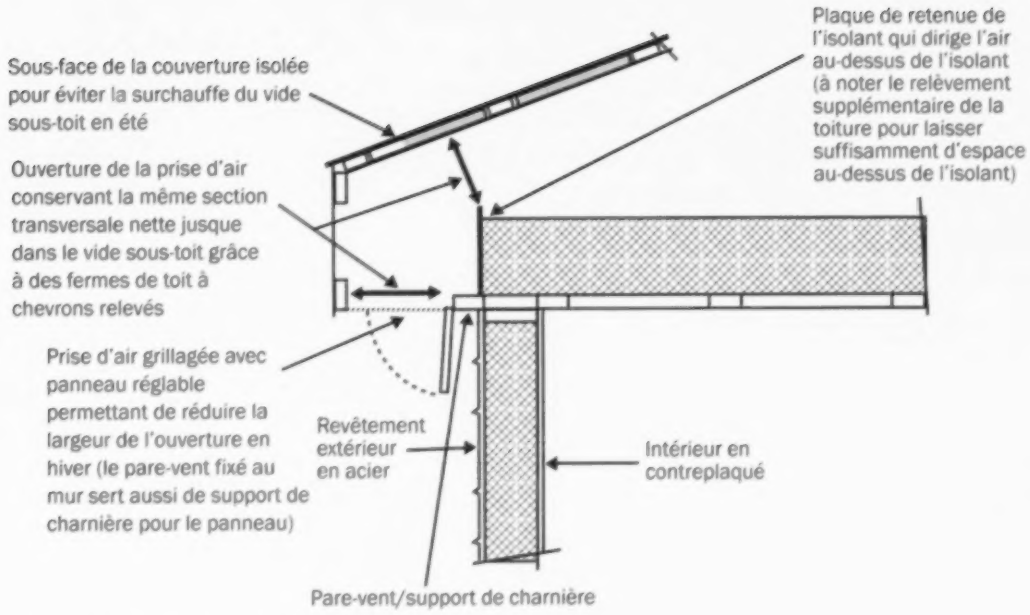


Figure 3.3 Prise d'air passant par le vide sous-toit

À l'approche de la saison froide, il faudra souvent fermer partiellement la prise d'air au moyen d'un panneau articulé, de manière à prévenir d'éventuels problèmes liés aux tempêtes de neige et de vent. La restriction de la prise d'air doit être aussi éloignée que possible du mur, de façon à séparer la neige du flux d'air entrant. On recouvrira l'ouverture de la prise d'air d'un grillage métallique de 0,5 po x 0,5 po (12 mm x 12 mm) pour empêcher les oiseaux et les rongeurs de s'y introduire.

Sur des prises d'air de grandes dimensions, on peut aussi utiliser comme panneau pare-vent un déflecteur métallique ou en bois qu'on installera sur le côté du bâtiment, à environ 12 à 15 po (30 à 38 cm) sous le dessous de l'auvent de la prise d'air, comme le montre la figure 3.4. Le déflecteur permet d'atténuer la force du vent près de l'entrée de la prise d'air lorsque le vent frappe ce côté du bâtiment, et ce, pour la plupart des orientations du vent.

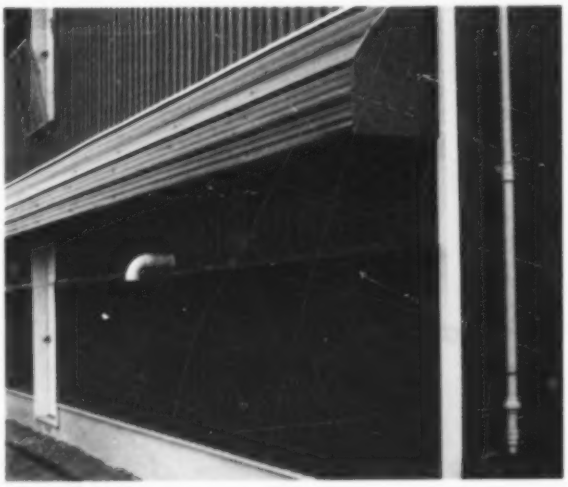


Figure 3.4 Panneau pare-vent fixé à un mur latéral du bâtiment

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : La prise d'air doit être bien protégée par un auvent ainsi que par un panneau pare-vent installé sur le mur latéral pour atténuer les fluctuations du vent qui pourraient être à l'origine d'une ventilation excessive ou insuffisante à l'intérieur.

Des systèmes de chauffage solaire passif ont été intégrés à certains auvents de prise d'air (comme on le voit aux figures 3.5 et 3.6) pour tirer profit de l'énergie solaire par temps froid. Il faut s'assurer que ces installations présentent une capacité volumétrique suffisante, de façon à ne pas restreindre le débit d'air vers l'intérieur du bâtiment. Par temps froid, on fermera le panneau sous l'auvent pour forcer l'air froid à passer par le panneau solaire. Dès que le temps se réchauffera, on rouvrira ce panneau pour permettre l'écoulement de volumes plus importants d'air vers le bâtiment.

Figure 3.5 Auvents de prise d'air recouverts de collecteurs d'énergie solaire

Figure 3.6 Panneau isolé fermant le dessous de l'auvent

Certaines installations d'élevage de volaille exigent une maîtrise totale des périodes de clarté et de noirceur à l'intérieur, ce qui suppose une occultation complète de la lumière autour des prises et des sorties d'air. Pour y arriver, on utilise divers dispositifs ou aménagements qui empêchent la lumière du jour de pénétrer dans le bâtiment. Dans ces aménagements, l'air suit un parcours comportant de nombreuses sections étroites (figure 3.7) ou circulaires autour de déflecteurs qui

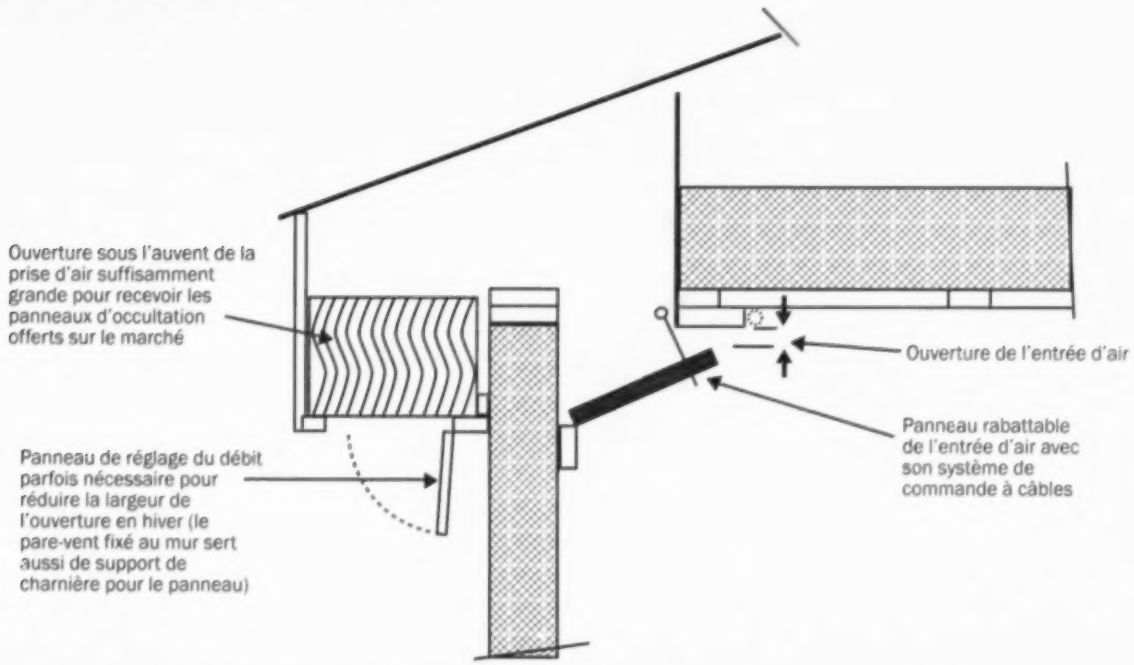


Figure 3.7 Passage de l'air réduit de 5 à 10 % par les panneaux d'occultation bloquant la lumière du jour

bloquent la lumière, mais qui constituent autant de restrictions à la libre circulation de l'air, à l'entrée comme à la sortie du bâtiment. Pour compenser, on portera la section transversale des prises d'air à 2,2 pi^2 par 1 000 pi^3/min de capacité de ventilation.

Certaines prises d'air d'été sont en outre dotées d'un système de refroidissement auxiliaire (fonctionnant par évaporation d'eau) qui opère un traitement préalable de l'air de ventilation en abaissant sa température, ce qui contribue à atténuer le stress imposé aux animaux par la chaleur. Les tapis poreux et humides (figure 3.8) à travers lesquels l'air passe avant d'être acheminé dans le bâtiment entravent de manière importante son déplacement, de sorte qu'il faut faire passer la section transversale des prises d'air à 2,5 pi^2 par 1 000 pi^3/min de capacité de ventilation.

Figure 3.8 Prises d'air plus grandes nécessaires pour compenser la restriction au passage de l'air occasionnée par les tapis humides assurant le refroidissement par évaporation

3.4 Types d'entrées d'air

Les entrées d'air les plus simples sont constituées de fenêtres ouvrantes ou de rideaux mobiles. On trouve couramment ce type d'entrée dans les systèmes de ventilation naturelle. Les entrées de type rideau ou panneau sont traitées au *Chapitre 9 – Ventilation naturelle.*

Les deux types les plus courants d'entrées d'air pour les systèmes de ventilation mécanique assurée par des ventilateurs sont :

- de longs panneaux rabattables continus recouvrant des fentes d'aération;
- de courts panneaux rabattables sur des entrées d'air modulaires montés au plafond ou sur un mur.

Dans les deux cas, ces panneaux d'entrée d'air rabattables sont réalisés ou isolés avec des panneaux de mousse de polystyrène à haute densité. L'isolant minimise les problèmes de condensation et les risques de congélation qui peuvent s'ensuivre au point de fermeture. Les figures 3.9 et 3.10 présentent, respectivement, un exemple de fente d'aération et un exemple d'entrées d'air modulaires montées au plafond.

Figure 3.9 Fente d'aération dans un poulailler de pondeuses en cages

Figure 3.10 Entrées d'air modulaires montées au plafond dans une porcherie

3.4.1 Principe de fonctionnement des entrées d'air

Comme pendant la plus grande partie de l'année, la température de l'air extérieur est plus basse que la température souhaitée à l'intérieur du local, on installe les entrées d'air au sommet des murs ou au plafond et on oriente le jet d'air à l'horizontale, le long de la surface du plafond, de façon que l'air frais se mélange bien à l'air ambiant et se réchauffe avant d'atteindre les animaux (figure 3.11). Une vitesse nominale d'admission de 800 à 1 000 pi/min permet de s'assurer que l'air frais extérieur ne tombe pas directement au sol et ne se transforme pas en courant d'air froid. Les figures 3.11 et 3.12 montrent comment le réglage d'une fente d'aération peut influencer la vitesse du jet d'air provenant de l'extérieur et sa trajectoire.

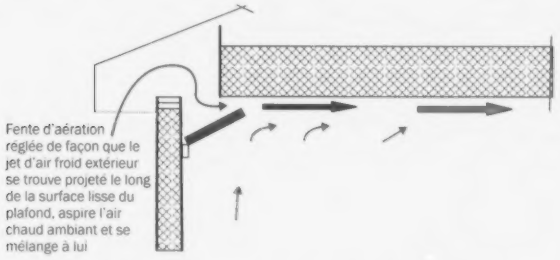


Figure 3.11 Réglage correct de la fente d'aération

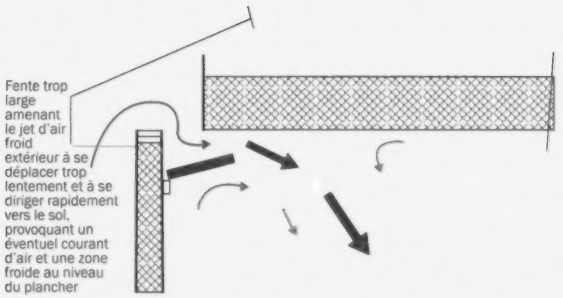


Figure 3.12 Ouverture trop large d'une fente d'aération

Pour maintenir une vitesse d'admission d'air élevée et constante, il faut que les entrées d'air puissent être réglées en fonction du volume d'air évacué par les ventilateurs d'extraction. En d'autres mots, les ventilateurs d'extraction doivent créer un léger vide (pression négative) dans le local pour que l'air extérieur soit tiré à l'intérieur par les prises d'air. Les entrées d'air s'ouvrent ou se ferment au besoin en fonction du taux de renouvellement d'air, de manière à maintenir ce léger vide.

La vitesse de l'air à travers les fentes d'aération est en relation directe avec la baisse de pression statique créée par l'air qui s'engouffre dans les fentes. Cette baisse de pression se mesure par la variation de la hauteur d'une colonne d'eau dans un tube de verre ou de plastique. Cet instrument est appelé manomètre, ou indicateur de pression statique (voir la figure 3.13).

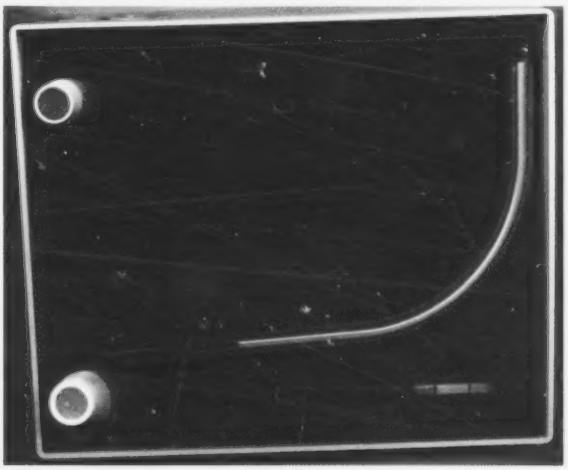


Figure 3.13 Manomètre (ici, le modèle à tube incliné)

Compte tenu des faibles pressions négatives nécessaires au bon fonctionnement des systèmes de ventilation dans les bâtiments d'élevage, la colonne de verre est légèrement inclinée pour faciliter sa lecture. Le tube basse pression donne sur le local de façon que les ventilateurs exercent leur effet de succion sur cette colonne de liquide, tandis que le tube haute pression est mis en contact avec l'extérieur pour y être soumis à la pression atmosphérique normale. L'appareil est étalonné en pouces de colonne d'eau. Il permet de vérifier le bon réglage des entrées d'air; il indique aussi indirectement si la vitesse d'admission de l'air en hiver atteint le niveau souhaitable, soit de 800 à 1 000 pi/min. Pour éviter les perturbations attribuables aux rafales de vent extérieur, on mesure généralement la différence de pression non pas entre l'extérieur et le local, mais entre le vide sous-toit et le local. Le cas échéant, il faut s'assurer que le vide sous-toit possède suffisamment d'ouvertures sur l'extérieur pour que sa pression corresponde véritablement à la pression extérieure normale.

Comme le montre la figure 3.14, la pression statique doit osciller entre 0,06 et 0,08 pouce de colonne d'eau (po CE) pour que l'air extérieur atteigne la vitesse souhaitée en hiver (de 800 à 1 000 pi/min) à son point d'entrée dans le bâtiment. Dans un bâtiment relativement étanche, cette vitesse est obtenue par une ouverture de 1 pi^2 pour chaque tranche de 1 000 pi^3/min de débit de ventilation par temps froid.

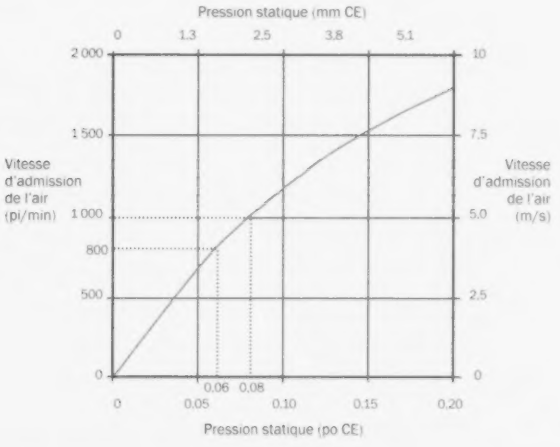


Figure 3.14 Relation entre la pression statique et la vitesse d'admission de l'air dans les fentes par temps froid

Les pressions statiques nécessaires l'été sont plus basses. Compte tenu des échanges d'air nettement supérieurs requis pour retirer du bâtiment l'excédent de chaleur produit par les animaux et du fait que la température extérieure est assez proche de la température visée à l'intérieur du bâtiment, il y a peu de risque que l'air frais extérieur se dirige vers le sol en été. Les importants volumes d'air puisés à l'extérieur tendent à se rendre plus loin dans le local quand on y maintient la même pression négative. Souvent, il n'est pas souhaitable de modifier le circuit de circulation de l'air, si bien que la pression statique peut être ramenée à des valeurs comprises entre 0,04 et 0,06 po CE en ouvrant un peu plus les panneaux des entrées d'air, ce qui aura pour effet de réduire la vitesse des volumes traités.

Il existe des cas où l'on souhaite une pression statique plus basse par temps froid. Ainsi, les locaux étroits abritant des animaux fragiles n'exigent pas une vitesse d'admission élevée pour que soit atteint le niveau de circulation requis. L'air doit être ralenti et sa température relevée avant d'arriver à la hauteur des animaux. La faible largeur du plafond et la proximité du mur opposé laissent peu de place et de temps à l'air pour se réchauffer, encore moins si sa vitesse est élevée. Dans ces conditions, une vitesse de 500 à 600 pi/min sera souvent suffisante, ce qui nécessite une pression statique de seulement 0,04 à 0,05 po CE.

Normalement, les entrées d'air s'ajusteront automatiquement grâce à l'action de contrepoids ou d'un actionneur à câbles. Après l'installation, on procédera à un réglage fin pour obtenir le circuit de circulation d'air souhaité, en fonction de la taille du local et de la forme des enclos. Il faut tenir compte du fait que l'air extérieur suit toujours la voie de moindre résistance pour entrer dans une pièce. Une porte laissée entrouverte, une fosse à purin sans couvercle ou d'autres ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment peuvent devenir des entrées fortuites qui accroîtront considérablement l'arrivée d'air à ces niveaux et affaibliront ou réduiront à néant le débit des entrées au plafond.

La superficie de l'entrée d'air à prévoir pour un volume d'air donné se calcule facilement à l'aide de la formule suivante :

$A = Q \div V$ où

A = superficie de l'entrée, en pi^2
Q = débit d'air, en pi^3/min
V = vitesse moyenne de l'air, en pi/min

Exemple : calculer la largeur de la fente d'admission requise pour assurer un taux de renouvellement d'air de 2 000 pi^3/min dans un local où l'air pénètre par une fente d'aération de 40 pi de longueur. Si la vitesse d'admission de l'air à l'entrée doit être de 1 000 pi/min, on calculera la superficie comme suit : $2\,000 \div 1\,000 = 2{,}0$ pi^2. En divisant cette superficie rectangulaire par la longueur L de la fente, on obtient la largeur de la fente répondant à nos exigences et qu'on désignera par la lettre w.

$w = A \div L = 2{,}0 \div 40 = 0{,}05$ pi ou
$(0{,}05 \times 12$ po/pi$) = 0{,}6$ po

Dans des conditions estivales et pour un débit de 10 000 pi^3/min passant par la même fente, la vitesse de l'air entrant doit être d'environ 600 pi/min si on veut obtenir un schéma de ventilation semblable. L'entrée d'air devra alors avoir la largeur suivante :

$(10\,000$ pi^3/min $\div$ 600 pi/min$) \div 40$ pi $= 0{,}42$ pi
ou $(0{,}42$ pi $\times 12$ po/pi$) = 5$ po

3.4.2 Obstacles à l'écoulement de l'air

L'air frais qui est aspiré dans un local, à sa partie supérieure, doit pouvoir glisser librement le long et près de la surface du plafond, de manière à pénétrer en profondeur dans le local. Il faut donc s'abstenir de fixer au plafond tout type d'accessoire qui pourrait entraver le déplacement de l'air, y compris des conduits électriques, des appareils d'éclairage, des tuyaux d'eau ou des conduites de gaz. Tout obstacle rencontré par le jet d'air le fera dévier vers le bas, créant ainsi une courant d'air descendant qui empêchera un mélange et un réchauffement complets de l'air extérieur. Les rainures du plafond (si celui-ci porte un revêtement rainuré) doivent être parallèles au jet d'air et non en travers de celui-ci.

Si des conduits quelconques doivent être installés à moins de 8 pi (2,4 m) du flux d'air entrant, ils doivent être suspendus, au moyen de crochets appropriés, à au moins 4 po (10,1 cm) sous la surface du plafond. Les fils desservant les appareils d'éclairage à proximité des entrées d'air doivent être disposés parallèlement au jet d'air, à partir d'un conduit principal situé vers le milieu de la pièce. Souvent, il est possible de dissimuler un conduit électrique directement devant le panneau d'arrêt fixé au plafond contre lequel le panneau d'entrée d'air s'abat par temps froid, de façon que l'air passe en dessous.

3.4.3 Mélange de l'air

La projection de l'air vers l'intérieur du bâtiment est importante et doit être adaptée aux dimensions et à la forme du local. Par temps froid, le jet doit avancer profondément dans la pièce (figure 3.15). Idéalement, la circulation primaire doit atteindre le milieu de la pièce, les entrées d'air étant situées sur l'un des murs latéraux et les ventilateurs d'extraction sur l'autre.

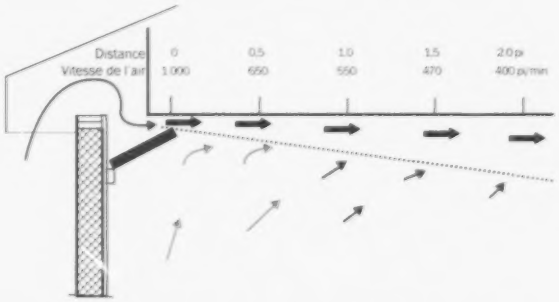
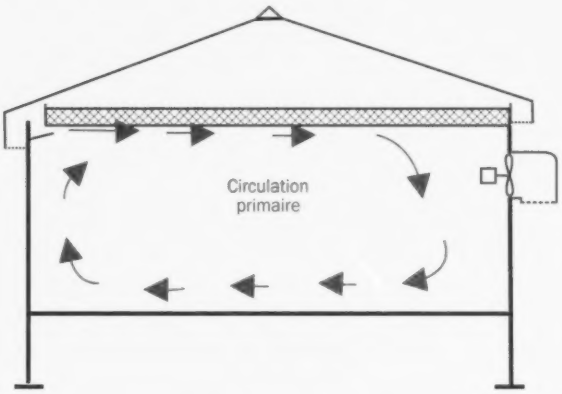


Figure 3.15 Jet d'air entrant et effet d'entraînement produit par une fente d'aération

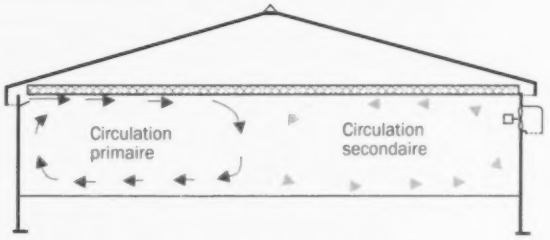
Le circuit de circulation primaire illustré à la figure 3.16 montre un circuit de circulation décrivant une boucle complète à partir de la prise d'air située d'un côté du local. Dans des locaux étroits, la portée du jet d'air est suffisante pour permettre à la masse d'air d'atteindre le mur opposé, mais il faut éviter des vitesses excessives dans les aires occupées per les animaux. Dans la plupart des bâtiments larges dotés d'une fente d'aération située sur toute la longueur d'un mur latéral et de ventilateurs d'extraction uniformément répartis sur le mur latéral opposé, un circuit de circulation primaire se crée du côté de la pièce où se trouve l'entrée d'air, tandis qu'un circuit

de circulation secondaire se met en place du côté opposé (figures 3.17 et 3.18). Il y a échange d'air partiel entre les deux zones. Celles-ci peuvent permuter (le circuit primaire se déplaçant du côté évacuation et le circuit secondaire du côté admission) avec le changement des saisons (hiver/été) en raison de la différence importante dans le volume des échanges d'air, un plus grand nombre de ventilateurs d'extraction étant mis en marche pendant la saison chaude.



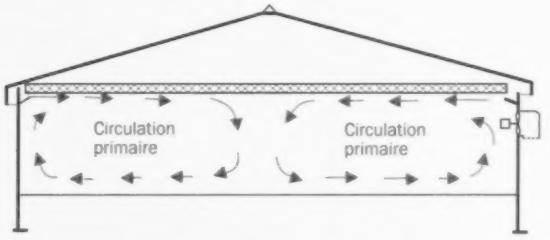
A. Local étroit, entrée d'air d'un côté

Figure 3.16 Circuit de circulation de l'air dans un local étroit, avec entrée d'air d'un côté



B. Local large, entrée d'air d'un côté

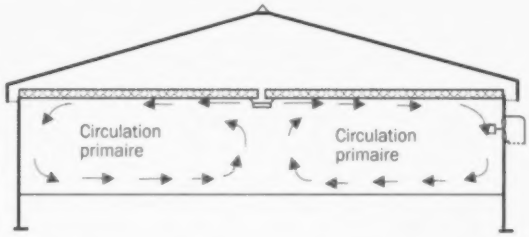
Figure 3.17 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air d'un côté



C. Local large, entrée d'air des deux côtés

Figure 3.18 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air des deux côtés

La figure 3.19 montre une installation dotée d'entrées d'air latérales et d'une prise d'air au plafond desservant les deux côtés de la pièce. Il s'agit là d'un exemple, mais on peut imaginer de nombreuses autres configurations conçues pour s'adapter à la répartition des animaux dans un bâtiment donné et assurer une ventilation convenable à chacun. Avec la construction de bâtiments d'élevage plus larges qui comportent des couloirs internes desservant plusieurs pièces, on a vu se multiplier les systèmes de ventilation avec entrées d'air au plafond orientées vers un ou deux côtés du local, une configuration qui permet de mieux s'adapter à l'agencement des enclos dans chaque pièce du bâtiment. Avant d'installer des entrées d'air au plafond, il faut toutefois s'assurer que la prise d'air dans le vide sous-toit est assez grande pour apporter le supplément de pression statique nécessaire au bon rendement des ventilateurs d'extraction.



D. Local large, entrée d'air au plafond évacuant sur deux côtés

Figure 3.19 Circuits de circulation de l'air dans un local large, avec entrée d'air au plafond orientée vers les deux côtés

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Lorsque tout le vide sous-toit est utilisé comme chambre de distribution de l'air frais, il faut isoler la sous-face du matériau de couverture avec un matériau offrant un coefficient de résistance thermique de R 5 pour éviter que l'air de ventilation ne soit surchauffé en été.

Pour qu'un bâtiment d'élevage soit bien ventilé, il faut que la trajectoire de l'air décrive une boucle complète, de façon à créer une ambiance uniforme pour les animaux et à permettre l'échange de volumes d'air appréciables à l'intérieur du bâtiment. Les concepteurs du système de ventilation doivent évaluer l'agencement des zones occupées par les animaux, prévoir suffisamment d'entrées d'air pour fournir l'apport d'air

frais qu'exigent les animaux et répartir stratégiquement ces entrées de manière à assurer le mélange de l'air par un circuit de circulation complet à l'intérieur de la pièce, sans que les animaux soient exposés à des courants d'air. Pour une circulation optimale de l'air, on disposera les entrées d'air de façon que tous les circuits de circulation soient de type primaire plutôt que secondaire. Cette précaution n'est toutefois pas nécessaire lorsque les animaux sont élevés au sol dans des enclos de grandes dimensions et ont la possibilité de trouver eux-mêmes un coin confortable.

Il est facile d'obtenir un circuit de circulation complet avec des fentes d'aération continues situées sur les murs latéraux ou le long du faîte. Par contre, avec des entrées d'air modulaires alignées sur toute la longueur de la pièce et installées à plus de 10 pi (3 m) les unes des autres, il sera plus difficile d'amener les masses d'air à se déplacer d'une entrée à l'autre, de sorte qu'apparaîtront des poches d'air stagnant. Comme il est important que toutes les zones occupées par des animaux reçoivent le même volume d'air frais, on disposera les entrées d'air modulaires assez près les unes des autres pour que les circuits de circulation convergent et fusionnent avant de traverser les zones occupées par les animaux.

La distance la plus grande que peut parcourir l'air frais extérieur sans qu'on lui donne un élan supplémentaire à son entrée est de 10 à 12 pi (3,0 à 3,6 m) pendant la saison froide et plus de 20 pi (6,0 m) par temps chaud. La figure 3.20 illustre le ralentissement progressif du jet d'air dès qu'il s'éloigne de l'entrée. À mesure que l'air ralentit sa course – le ralentissement étant fonction de son échauffement au contact de l'air ambiant –, il se détache du plafond et tombe au sol.

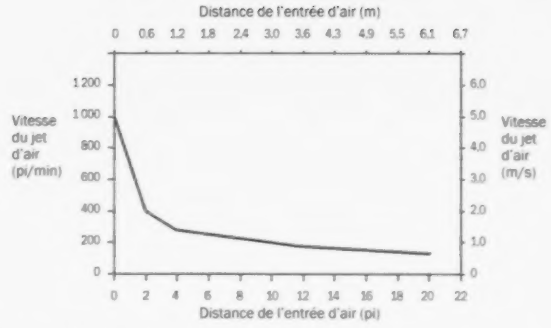


Figure 3.20 Décélération du jet d'air entrant par une fente d'aération

Optimisation du mélange de l'air

Certains bâtiments d'élevage ne sont pas assez étanches pour qu'on y maintienne une pression statique de 0,07 po de CE ou plus, notamment aux taux de renouvellement d'air, comme en hiver. Une basse pression statique réduit la vitesse de l'air à son arrivée, ce qui se traduit par un mélange incomplet de l'air extérieur avec l'air du local. La solution consistera à améliorer l'étanchéité du bâtiment pour réduire les infiltrations d'air et maintenir une pression négative à l'intérieur.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Le maintien en bon état des coupe-froid autour des portes et des fenêtres permettra d'améliorer la qualité de la ventilation et d'accroître l'efficacité énergétique du bâtiment.

Un autre moyen d'augmenter la puissance du jet d'air qui entre dans le bâtiment consiste à installer un système de recirculation forcée de l'air intérieur. Cette solution est recommandée pour les constructions non étanches, les locaux abritant peu d'animaux (compte tenu de l'espace disponible) et les bâtiments situés dans des régions soumises à de longues périodes de temps froid.

Conduits de mélange d'air

La figure 3.21 montre une installation auxiliaire de mélange de l'air. Ce conduit rigide relié à un ventilateur soufflant et percé de trous ronds est suspendu sous une série d'entrées d'air modulaires de plafond. Il sert à faire circuler l'air frais dans la pièce, suivant un circuit de ventilation plus efficace.

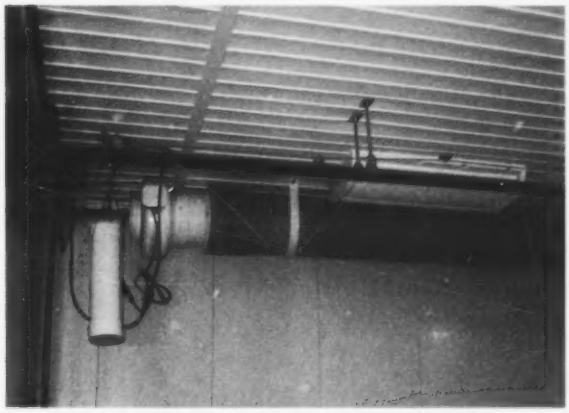


Figure 3.21 Installation constituée d'un conduit rigide relié à un ventilateur soufflant et percé de trous de distribution, qui améliore la circulation de l'air

Le débit d'air canalisé par l'installation varie entre 0,5 et 1,5 $pi^3/min/pi^2$ de surface de plancher. Parmi les autres critères de calcul généraux à appliquer, mentionnons la mise en œuvre d'une capacité de ventilation égale à environ 3 fois le taux de renouvellement d'air en hiver et/ou équivalant à 3 ou 4 renouvellements d'air par heure. On aura ainsi l'assurance d'avoir assez d'air tiède intérieur à brasser avec l'air froid extérieur pour éviter la condensation d'eau et la formation de buée.

Les conduits doivent être assez gros pour limiter la vitesse interne de déplacement de l'air à 1 200 pi/min ou même à 1 000 pi/min ou moins. D'autre part, les trous de distribution de l'air percés dans le conduit doivent être espacés également de façon à obtenir une vitesse de sortie de 1 000 pi/min, ce qui permet un bon mélange de l'air dans toute la pièce. À vitesse du jet d'air égale, un trou de petit diamètre ne projettera pas autant d'air, ni aussi loin, qu'un trou plus gros. Des essais réalisés en situation réelle ont permis de conclure que le diamètre des trous doit être déterminé en fonction de la distance de projection nécessaire pour créer un bon circuit de circulation primaire de l'air dans le local. Le tableau 3.1 présente les recommandations des spécialistes en ce qui concerne le diamètre des trous percés dans les conduits et le débit d'air évacué par chacun des trous en fonction de la distance de projection du jet d'air.

Tableau 3.1 Diamètre des trous dans les conduits de circulation intérieure de l'air

Distance[a] minimale de projection du jet d'air		Diamètre recommandé des trous		Débit d'air par trou[b]	
pi	m	po	mm	pi^3/min	L/s
6	1,8	0,50	13	3	1,4
8	2,4	0,75	19	5	2,4
10	3,0	1,00	25	8	3,8
12	3,7	1,25	32	10	4,7
14	4,3	1,50	38	15	7,1
16	4,9	1,75	44	20	9,4
20	6,1	2,00	51	30	14,1

[a] Distance de projection du jet d'air nécessaire pour créer un bon circuit de circulation primaire.
[b] Débit d'air calculé en fonction d'une vitesse de jet d'air de 1 000 pi/min à chaque trou.

Pour des conduits ne dépassant pas 50 pi (15,2 m) de longueur, on peut conserver la même section transversale tout le long du conduit, en perçant des trous à des distances égales. Pour des parcours plus longs, il faudra ou bien utiliser des tuyaux dont la section se rétrécit progressivement ou bien modifier l'espacement des trous de manière à obtenir un débit relativement égal à chaque trou.

Ventilateurs de circulation intérieure

L'emploi de ventilateurs de circulation intérieure permet d'accélérer les déplacements de l'air dans un local sans avoir à recourir à des conduits de distribution (figure 3.22). Cette solution qui nécessite moins d'entretien est aussi plus pratique pour les grands locaux abritant des animaux moins fragiles (comme les poulets à griller).

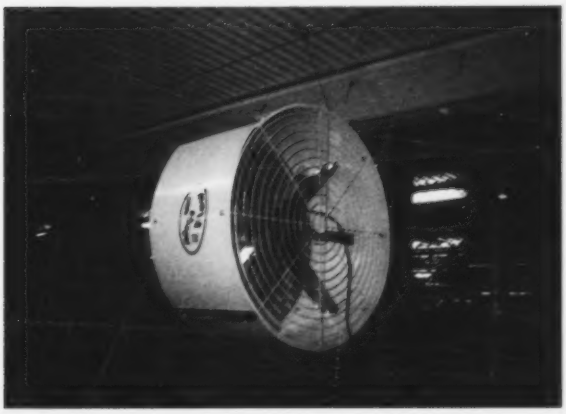


Figure 3.22 Ventilateur de circulation intérieure

Les ventilateurs de circulation intérieure doivent être dimensionnés de façon à fournir des débits variant de 1 à 3 pi³ d'air/min/pi² de surface de plancher. On choisira de préférence des appareils munis d'un moteur à vitesse variable et d'un dispositif de commande permettant d'adapter la vitesse de circulation de l'air à chaque situation. De très faibles vitesses sont indiquées par temps froid et pour des animaux jeunes ou plus fragiles, ce qui suppose l'emploi d'appareils d'une capacité maximale de 5 000 pi³/min (ou mieux, 3 000 pi³/min) dont on peut régler la vitesse afin qu'on puisse les utiliser à basse vitesse par temps froid et aussi quand les animaux sont jeunes, donc plus sensibles aux courants d'air et afin qu'on puisse aussi les utiliser à haute vitesse pour circuler le maximum d'air par temps chaud. Lorsque ce type d'appareil est utilisé pour accroître l'effet de refroidissement en été, on voudra disposer d'un maximum de puissance pour accélérer le déplacement de l'air au-dessus des animaux et, dans ce cas, on se tournera vers des ventilateurs d'une capacité de 10 000 pi³/min et même plus.

Deux critères de conception s'ajoutent aux recommandations précédentes :

- il faut prévoir un ventilateur de circulation pour chaque tranche de 2 500 pi² de surface de plancher ou moins;
- les ventilateurs ne doivent pas être espacés de plus de 100 pi (ou mieux, 60 à 90 pi).

La forme des circuits de circulation intérieure de l'air doit tenir compte des dimensions des pièces desservies et de la disposition des enclos. Pour des pièces qui ne dépassent pas 50 pi (15,2 m) de largeur (environ) et qui abritent des volailles élevées au sol, on adopte souvent un circuit en forme de piste de course qui longe d'abord le mur des entrées d'air, contourne le mur d'extrémité et vient terminer son parcours sur le mur des ventilateurs d'extraction (figure 3.23). Les pièces plus larges sont mieux desservies par un circuit déployé dans le sens de la largeur. Dans ce cas, la circulation se fait ou bien dans une seule direction (figure 3.24), ou bien selon un schème entrecroisé (figure 3.25). Idéalement, les ventilateurs seront espacés d'au plus 50 pi (15,2 m) pour ne pas créer des poches d'air stagnant. Il est important de distribuer l'air uniformément, sans provoquer de courants d'air.

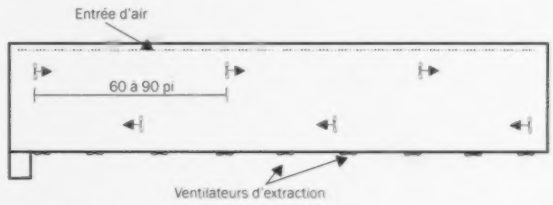


Figure 3.23 Ventilateurs de circulation intérieure créant un circuit en piste de course

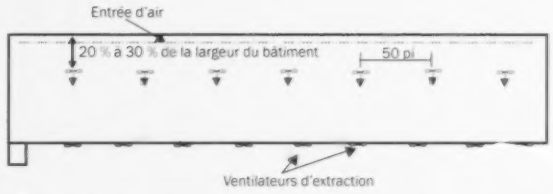


Figure 3.24 Ventilateurs de circulation intérieure assurant une circulation transversale dans une seule direction

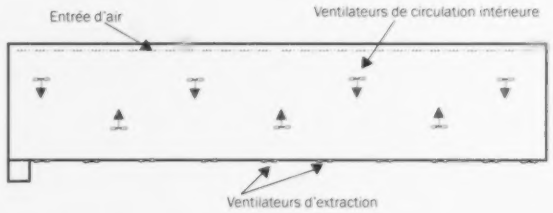


Figure 3.25 Ventilateurs de circulation intérieure assurant une circulation entrecroisée

3.4.4 Réglage des entrées d'air

Entrées d'air commandées par câbles

La plupart des entrées d'air sont ouvertes et fermées au moyen d'un système de commande à câbles relié à un mécanisme qui permet de régler uniformément, à partir d'un point de commande unique, toute la longueur d'une fente d'aération ou toute une rangée d'entrées modulaires multiples. Les entrées d'air peuvent être réglées manuellement au moyen d'un treuil manuel (aussi appelé tire-fort), mais la plupart des entrées d'air s'ouvrent et se ferment automatiquement – en fonction du taux de renouvellement d'air dans le local – par le biais d'un actionneur à câbles, comme celui qui est présenté à la figure 3.26. Le système de commande à câbles comporte aussi un treuil manuel qui permet de régler la tension du câble au moment de l'installation initiale et de procéder par la suite à des réglages périodiques pour tenir compte de l'étirement du câble. Le treuil permet aussi de faire des réglages d'urgence en cas de défaillance de l'actionneur automatique.

Figure 3.26 Actionneur automatique d'entrée d'air thermorégulé avec treuil manuel

Les deux facteurs qui interviennent dans le réglage automatique des entrées d'air sont :

- la pression statique,
- la température.

Les régulateurs sensibles à la pression statique permettent de fixer les limites de pression statique inférieure et supérieure à l'intérieur desquelles le système de ventilation fonctionnera. Lorsqu'un ventilateur supplémentaire démarre et fait monter la pression statique au-delà de la limite supérieure fixée, le régulateur envoie un signal d'ouverture à l'actionneur à câbles. Lorsqu'au contraire un ventilateur s'arrête et que la pression tombe sous la limite basse, un signal commande à l'actionneur de fermer l'entrée d'air.

Les régulateurs sensibles à la température ouvrent et ferment les entrées d'air du bâtiment proportionnellement à la variation de la température ambiante, dans l'intervalle des températures fixé par l'utilisateur ou en suivant les étapes définies par celui-ci, en concordance avec les paliers de fonctionnement des ventilateurs.

Le maintien, dans des limites déterminées, de la pression statique à l'intérieur d'un bâtiment est une condition essentielle à une ventilation efficace; tous les systèmes de régulation doivent donc satisfaire à cette exigence. Un régulateur sensible à la pression le fait directement. Avec un régulateur sensible à la température, l'utilisateur doit programmer les conditions d'ouverture des entrées d'air pour arriver au même résultat. En théorie, le régulateur sensible à la pression statique est plus efficace, mais l'industrie lui préfère généralement le régulateur sensible à la température. Ce choix s'explique notamment par le fait que le niveau de pression statique maintenu dans les locaux ventilés abritant du bétail est très bas et que les vents extérieurs peuvent compromettre la stabilité du système. Il s'explique également par le fait que les entrées d'air commandées par ce type de régulateur sont commandées par zones sur toute la longueur des bâtiments de grande taille. Ce zonage fait en sorte qu'une partie des entrées pourra réagir à un changement de température dans une zone donnée, sans que les autres zones ne soient touchées.

La plupart des régulateurs d'entrée sensibles à la température utilisent une valeur programmable – soit un pourcentage d'ouverture – comme donnée de base pour régler l'ouverture des entrées en fonction du taux de renouvellement d'air dans le bâtiment. Une étape essentielle de la mise en service de chaque système de ventilation consiste à déterminer les pourcentages d'ouverture des entrées d'air qui produisent la pression statique idéale et donnent les meilleurs circuits de

Tableau 3.2 Ouverture de l'entrée d'air dans un local abritant du bétail, à divers paliers de ventilation

Palier de ventilation	Capacité estimative de ventilation	Vitesse estimative de l'air à l'entrée	Ouverture estimative de l'entrée d'air[a]	
			en po[b]	en %[c]
Palier 1, min.	500 pi³/min	1 000 pi/min	0,15	2 %
Palier 1, max.	**1 500 pi³/min**	**900 pi/min**	**0,50**	**6 %**
Palier 2, min.	2 500 pi³/min	800 pi/min	0,90	11 %
Palier 2, max.	**4 500 pi³/min**	**700 pi/min**	**1,90**	**24 %**
Palier 3	8 500 pi³/min	600 pi/min	4,25	53 %

[a]Pour une entrée d'air d'une longueur totale de 40 pi.
[b]Le calcul se fait comme suit : (500 ÷ 1000 ÷ 40) x 12.
[c]L'ouverture maximale de l'entrée d'air (100 %) est de 8 po.

circulation de l'air. Pour ce faire, on se sert d'un manomètre de pression statique et on procède à un essai intérieur à la fumée pour définir le bon pourcentage d'ouverture à prévoir pour chaque palier de ventilation, du minimum d'hiver au maximum d'été. On peut aussi, par des formules mathématiques, calculer les pourcentages d'ouverture à appliquer dans chaque cas en se basant sur les données estimatives de rendement des ventilateurs et en tenant compte de la vitesse souhaitée de l'air à l'entrée.

Le tableau 3.2 présente le résumé de ces calculs pour une pièce comportant une fente d'aération de 40 pi (12,2 m) de longueur. L'installation comprend deux ventilateurs à vitesse variable et un ventilateur d'été à vitesse fixe.

Le tableau ci-dessus indique qu'il y a baisse de la vitesse d'admission de l'air à mesure que le taux de renouvellement augmente, du débit minimal d'hiver au débit maximal d'été. Cette baisse est nécessaire pour réduire la pression statique et maintenir un circuit constant de circulation intérieure à mesure que le taux de renouvellement d'air augmente avec le réchauffement de l'air extérieur. Les chiffres montrent que la capacité de l'entrée d'air en question est supérieure aux besoins du local et que l'entrée ne devrait donc jamais être ouverte au maximum. Dans certains cas, il faudra aménager des entrées supplémentaires pour assurer une ventilation satisfaisante de toutes les zones occupées par des animaux et pour que la trajectoire de l'air décrive un circuit de circulation complet sans augmenter indûment les vitesses, comme cela se produirait si on utilisait la capacité maximale de chaque entrée d'air.

Entrées d'air auto-équilibrées

Une façon simple de parvenir à une certaine auto-régulation de l'approvisionnement en air frais consiste à utiliser des entrées auto-équilibrées. Ces entrées modulaires constituées de panneaux rigides en polystyrène (figure 3.27) sont dotées d'un contrepoids qu'on peut régler pour garder l'entrée d'air en équilibre dans sa position fermée. Dès qu'un vide se fait sentir dans le local, les entrées s'ouvrent en repoussant le bras de levier lesté. Plus la pression statique s'élève, plus les entrées s'ouvrent. Lorsque la ventilation diminue, le contrepoids coupe l'arrivée d'air.

Comme chaque entrée doit être réglée individuellement, le système convient surtout aux locaux comportant un petit nombre de ces ouvertures, puisqu'elles peuvent être difficiles à équilibrer pour s'ouvrir toutes en même temps. Il faut ajouter que ce type d'entrée n'est pas totalement automatique, puisque la pression statique augmente en même temps que la ventilation s'accroit. Or, dans la pratique, c'est le contraire qu'on souhaite – soit moins de pression statique en été qu'en hiver. Il faudra donc procéder à un réglage saisonnier des contrepoids de manière à maintenir une vitesse suffisante du jet d'air frais à son arrivée dans le local et un bon mélange avec l'air intérieur.

Figure 3.27 Entrée d'air auto-équilibrée

3.4.5 Autres types d'entrées d'air

Entrées d'air des systèmes de ventilation longitudinale

Dans les installations dotées d'un système de ventilation longitudinale (ou par effet tunnel), l'air frais entre à une extrémité du bâtiment et les gros ventilateurs d'été, situés à l'autre extrémité, le tirent sur toute la longueur du bâtiment plutôt que dans le sens de la largeur, comme c'est le cas pour la ventilation transversale. Cette disposition engendre un flux d'air massif qui traverse rapidement le bâtiment, comme dans une soufflerie, et dont la vitesse, au-dessus des animaux, est de deux à quatre fois plus élevée que celle du flux créé par la ventilation transversale. Utilisée par temps chaud, la ventilation longitudinale exerce un effet bénéfique de refroidissement éolien qui rafraîchit les animaux par convection. Elle diminue le stress thermique, augmente le confort des animaux et permet de maintenir leur productivité malgré les grandes chaleurs.

Les entrées d'air dans un système longitudinal se présentent généralement sous forme de grandes ouvertures rectangulaires couvertes de panneaux ou de rideaux isolés, semblables à ceux qu'on utilise pour la ventilation naturelle. Les ouvertures des portes et des fenêtres peuvent aussi être mises à profit, puisque les courants d'air ne constituent pas un problème par temps chaud. Le calcul de l'ouverture nette à prévoir se fait en utilisant le même ratio que dans les systèmes de ventilation transversale, soit 2 pi^2 d'ouverture pour 1 000 pi^3/min de débit d'air dans le tunnel.

Dans la ventilation longitudinale, l'air est aspiré sur toute la longueur du local à la vitesse de 200 à 500 pi/min (1 à 2,5 m/s). Pour calculer la quantité d'air requise pour alimenter ce système, on multiplie la superficie de la section transversale nette du local par la vitesse prévue de l'air (dans le sens de la longueur). Par exemple, un poulailler de poulets à griller de 60 pi (18,2 m) de largeur et d'une hauteur de plafond de 9 pi (2,7 m) présente une section transversale brute de 540 pi^2, mais une section nette d'environ 480 pi^2 quand on exclut l'espace occupé par les oiseaux, soit environ un pied. (Il faudra aussi soustraire de cette superficie l'espace occupé, le cas échéant, par toute obstruction permanente présente dans le local, par exemple, les pondoirs dans un poulailler consacré à la reproduction). Pour une vitesse de circulation de l'air souhaitée de 300 pi/min, le débit d'air aspiré dans le tunnel atteindra 144 000 pi^3/min (soit 480 pi^2 x 300 pi/min). L'entrée d'air pour ce local doit donc avoir la superficie suivante :

$$2 \times (144\,000 \div 1\,000) = 288 \text{ pi}^2$$

L'air en mouvement ne change pas facilement de direction. C'est pourquoi on place les entrées d'air à l'une des extrémités du bâtiment, comme le montre la figure 3.28, de façon que l'air entre directement dans le bâtiment et se déplace en bloc dans le sens de sa longueur. Si la chose n'est pas possible, on pourra aménager une partie ou la totalité des entrées d'air sur les côtés du bâtiment, à une même extrémité. L'air, quand il entre dans un bâtiment par un mur latéral, s'élance d'abord en travers du bâtiment, plutôt que dans le sens de sa longueur. Il finit bien sûr par se redresser et se dirige ensuite vers les ventilateurs d'extraction, mais il laisse, le long du mur latéral d'où il vient, une zone d'air stagnant, comme le montre la figure 3.29. Au besoin, on pourra utiliser des déflecteurs et/ou de puissants ventilateurs de circulation intérieure pour aider à réorienter l'air entrant et à éliminer cette zone morte.

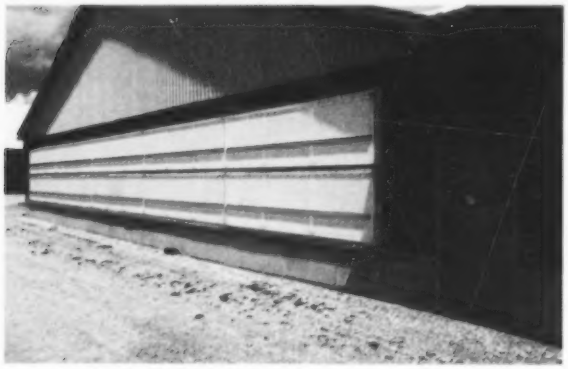


Figure 3.28 Trappe de 6 pieds de hauteur et de 56 pi de largeur courant sur toute la longueur du mur d'extrémité de chaque étage de ce poulailler de poulets à griller

Nota : le local de service est construit à l'extérieur du bâtiment principal, de façon que les entrées d'air aménagées dans le mur d'extrémité aient une pleine largeur.

La présence d'un local d'accès ou de service adossé au mur d'extrémité où se trouve la prise d'air d'un système de ventilation longitudinale réduira d'autant la largeur de l'entrée d'air, ce qui se traduira par la création d'une autre zone d'air stagnant en aval du local de service (figure 3.29). La salle de traite des vaches dans une ferme laitière peut de même constituer une obstruction. La pression d'un fort vent d'été soufflant de biais par rapport à l'extrémité du bâtiment contenant la prise d'air pourra faire dévier le flux d'air sur un des murs latéraux intérieurs du bâtiment. Sachant que la vitesse de l'air dans un bâtiment doté d'une ventilation longitudinale est de l'ordre de 4 à 6 km/h (220 à 325 pi/min), il va de soi qu'un vent d'à peine 15 à 20 km/h (820 à 1 100 pi/min) l'emportera nettement sur l'air véhiculé par le système, créant de ce fait même une zone d'air stagnant plus étendue. Pour atténuer le problème, on peut installer des déflecteurs d'air à l'emplacement de l'entrée d'air.

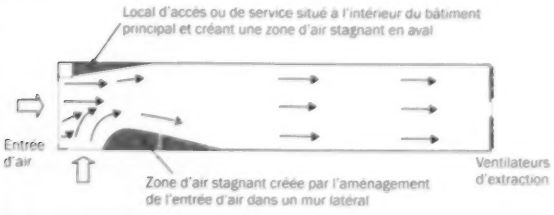


Figure 3.29 Plan d'étage indiquant les éventuelles zones d'air stagnant

Entrées d'air par un plafond « poreux »

De nombreux systèmes de ventilation mécanique anciens – utilisés dans des bâtiments de ferme à deux étages avec grenier au-dessus de l'étable – comptaient sur les fuites autour des portes et des fenêtres et sur les fissures entre les planches du grenier pour s'approvisionner en air frais. Les produits de calfeutrage modernes permettent de se protéger des infiltrations d'air froid autour des portes et des fenêtres, mais cela signifie que le plancher du grenier devient alors l'entrée d'air principale du système de ventilation. Dans la plupart des cas, le sol du grenier est au moins recouvert d'une couche de matière en vrac – foin ou paille, par exemple – qui assure une certaine isolation thermique et le filtrage de l'air extérieur. On a donné le nom de « plafond poreux » à ce type de plafond utilisé comme entrée d'air d'un système de ventilation (figure 3.30).

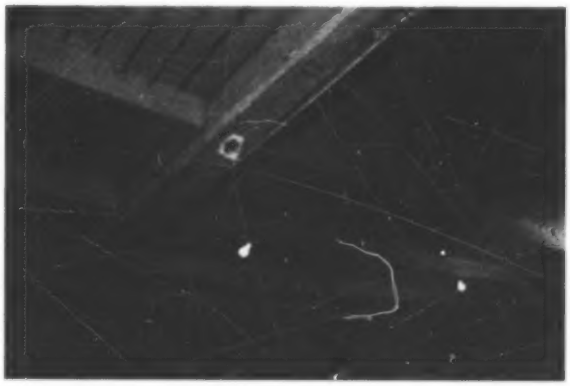


Figure 3.30 Type ancien de plafond « poreux » dans une étable surmontée d'un grenier

Les concepteurs en ventilation utilisent ce type de plafond comme entrée d'air frais à faible vitesse et de grande dimension (soit la surface du plafond) lorsqu'ils veulent réduire le risque de courants d'air et favoriser une dispersion plus uniforme de l'air frais dans le local. Par temps froid, ce moyen permet d'obtenir une certaine circulation bidirectionnelle de l'air avec un faible débit de ventilation, mais aussi de préchauffer une partie de l'air entrant, évitant ainsi totalement ou partiellement la formation de buée attribuable aux grands écarts de température. Les modes de réalisation peuvent varier, les matériaux utilisés comprenant des planches non jointives, des feuilles de plastique perforées, des bandes de plafond en acier inoxydable

ou de simples panneaux perforés. Les éléments filtrants peuvent être constitués d'isolants fibreux de divers types ou de foin ou de paille déposés sur l'ossature du plafond. Dans certains cas, le plafond poreux est suspendu sous un plafond isolé ordinaire, l'air frais empruntant un couloir de préchauffage, puis l'espace vide entre les deux surfaces de plafond avant de pénétrer dans le local abritant les animaux en passant par les fentes ou les trous des bandes de diffusion (figure 3.31). Dans d'autres cas, la totalité de l'air frais est tiré du vide sous-toit et passe à travers un coussin de fibre de verre de 4 à 6 po d'épaisseur avant d'entrer dans le local en traversant un revêtement de plafond poreux, comme on le voit à la figure 3.32.

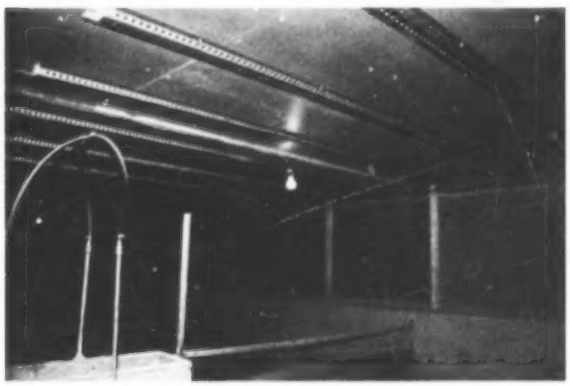


Figure 3.31 Plafond poreux avec bandes de diffusion en acier inoxydable

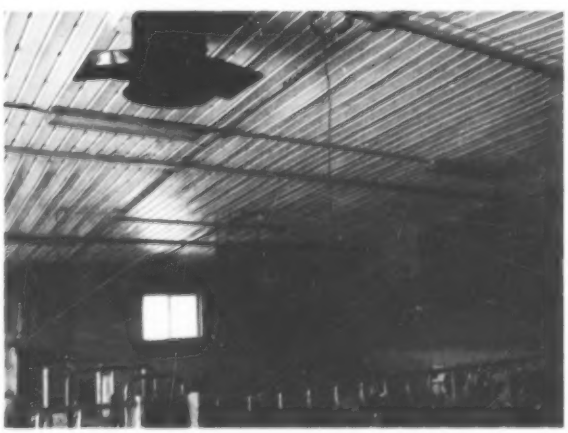


Figure 3.32 Plafond poreux fait de feuilles de vinyle perforées supportant un isolant en nattes de fibre de verre R 20

La capacité d'admission d'air d'un plafond poreux se calcule en utilisant une vitesse d'admission de 1 000 pi/min pour un débit maximal souhaité à travers le plafond. Ce type d'entrée d'air offre peu de possibilités de réglage, sinon aucune. Par conséquent, par temps froid, la vitesse de l'air admis ne peut être réduite que par une réduction du débit des ventilateurs d'extraction. Cela a pour conséquence que certains systèmes de ventilation à plafond poreux ne sont efficaces que pour les trois saisons les plus froides de l'année et qu'il faut les remplacer par temps chaud par des fentes d'aération.

Systèmes combinés d'admission d'air

Plusieurs fabricants de matériel de ventilation proposent des systèmes combinés d'admission d'air. Dans ce type de système, une partie de l'air ambiant est mélangée à l'air frais extérieur de manière à réchauffer celui-ci très rapidement et à distribuer le mélange dans l'ensemble de la pièce à partir d'un seul point d'entrée. L'air frais est tiré dans le bâtiment par l'intermédiaire d'une grille d'aération motorisée ou directement par un ventilateur d'aspiration. Des conduits munis de registres de réglage permettent de fixer la proportion d'air frais qui sera mélangée avec l'air ambiant recirculé. Comme le montrent les figures 3.33 et 3.34, l'air mélangé est diffusé dans la pièce au moyen d'une buse de distribution ou d'un conduit.

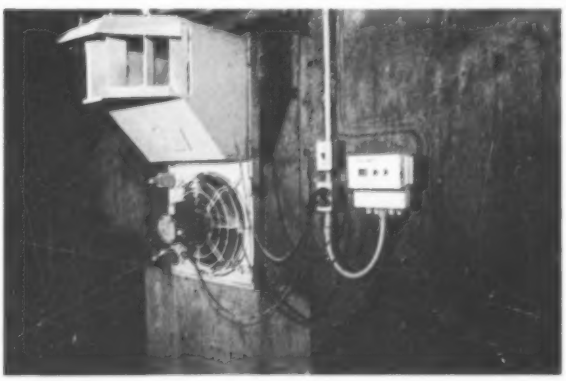


Figure 3.33 Système d'admission d'air où se trouvent réunis un ventilateur d'aspiration et un ventilateur d'évacuation, le tout complété par un registre mélangeur (Axis-Air)

Figure 3.34 Système d'admission d'air comportant une grille d'aération motorisée et un ventilateur de circulation

Les systèmes combinés permettent un bon mélange et une bonne distribution de l'air. Ils doivent cependant être soigneusement conçus et dimensionnés de façon à ne pas exposer les animaux à des courants d'air, la même remarque s'appliquant à tous les dispositifs d'amenée d'air frais. Ces systèmes exigeant plus de ventilateurs – pour tirer l'air de l'extérieur et le distribuer à l'intérieur –, il va de soi qu'ils consomment plus d'énergie qu'un système plus simple fonctionnant uniquement par pression négative.

Les systèmes combinés ne sont utilisables que pendant les trois saisons les plus froides de l'année. On s'efforcera donc de limiter le nombre de ventilateurs installés ainsi que la taille des conduits, lesquels pourraient réduire la hauteur libre disponible et nuire à la bonne marche d'autres installations. Pour obtenir le supplément d'air frais indispensable pendant la saison chaude, on aura recours à des fentes d'aération classiques. Par temps froid, l'air mélangé qui circule dans les conduits étant légèrement plus froid que l'air de la pièce, on pourra voir apparaître de la condensation et des dépôts de poussières à la surface des conduits, surtout si on utilise de simples conduits de plastique. Ces conduits, difficiles à nettoyer, ne sont pas recommandés dans les exploitations exigeant un niveau élevé de biosécurité.

Voici une série de feuilles de calcul précisant les exigences à respecter relativement aux entrées d'air et à la recirculation de l'air ambiant.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des entrées d'air

1.	Nombre d'animaux (type d'animal)	Nombre
2.	Taux de renouvellement d'air par temps chaud (tiré de l'*annexe B*)	pi^3/mi
3a.	Débit d'air maximal en fonction du nombre d'animaux : _____ animaux x _____ pi^3/min/animal	pi^3/mi
3b.	Débit d'air maximal pour 1 renouvellement d'air par minute : _____ pi de longueur de la pièce x _____ pi de largeur de la pièce x _____ pi de hauteur de la pièce x 60 renouv. d'air/h ÷ 60 min/h	pi^3/mi
3c.	Débit d'air maximal en fonction d'autres critères précisés par le concepteur	pi^3/mi
4.	Superficie minimale des prises d'air à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min : _____ pi^3/min x 2 pi^2/1 000 pi^3/min	pi^2
5.	Longueur minimale des prises d'air donnant sur le local ou le vide sous-toit (d'après les plans du bâtiment) : _____ pi	pi
6.	Largeur minimale de l'ouverture des prises d'air : _____ pi^2 ÷ _____ pi = _____ pi x (12 po/pi) ÷ (1 po pour le grillage)	po
7.	Vitesse maximale d'admission de l'air par temps chaud : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	pi/min
8.	Superficie minimale des entrées d'air dans la pièce : _____ pi^3/min ÷ _____ pi/min	pi^2
9a.	Longueur des *fentes d'aération* requises (les fentes doivent être aussi continues que possible sur toute la longueur de la pièce)	pi
9b.	Nombre d'*entrées d'air modulaires* requises, selon la capacité de chacune : _____ pi^3/min ÷ _____ pi^3/min de capacité nominale indiquée par le fabricant	Nombre d'entrées d'air
9c.	Nombre d'*entrées d'air modulaires* requises en comptant une entrée par longueur de 10 pi : _____ pi de longueur de la pièce ÷ 10 pi	Nombre d'entrées d'air
9d.	Choix entre des *fentes d'aération* (9a) ou le nombre d'*entrées d'air modulaires* (9b ou 9c)	pi ou nombre d'entrées
10.	Longueur totale des entrées d'air, calculée selon le nombre d'entrées modulaires ou la longueur des fentes d'aération : _____ unités modulaires x _____ po ÷ 12 po/pi, ou _____ pi de fentes	pi
11.	Ouverture maximale des entrées d'air : _____ pi^2 de superficie des prises d'air ÷ _____ pi de longueur des entrées = _____ pi x (12 po/pi)	po
12a.	Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid (tiré de l'*annexe B*) : _____ pi^3/min/animal x _____ animaux	pi^3/mi
12b.	Débit minimal par temps froid pour réaliser 4 renouv. d'air par heure : _____ pi de longueur x _____ pi de largeur x _____ pi de hauteur ÷ 60 min/h x 4 renouv./h	pi^3/mi
12c.	Débit minimal par temps froid en fonction d'autres critères précisés par le concepteur	pi^3/mi
13.	Vitesse minimale d'admission de l'air par temps froid : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	pi/min
14.	Superficie minimale des entrées d'air : _____ pi^3/min ÷ _____ pi/min	pi^2
15.	Largeur d'ouverture minimale des entrées d'air : _____ pi^2 de superficie des entrées ÷ _____ pi de longueur des entrées = _____ pi x (12 po/pi)	po

Feuille de calcul servant au dimensionnement des conduits de recirculation

1a.	Taux minimal de renouvellement d'air par temps froid (tiré de l'*annexe B*) : _____ pi^3/animal x _____ animaux	pi^3/min
1b.	Débit d'air minimal par temps froid pour réaliser 4 renouvellements d'air par heure : _____ pi de longueur de la pièce x _____ pi de largeur de la pièce x _____ pi de hauteur de la pièce) ÷ 60 min/h x 4 renouv./h	pi^3/min
1c.	Débit d'air minimal par temps froid en fonction d'autres critères précisés par le concepteur	pi^3/min
2a.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre trois fois le débit prévu par temps froid : _____ pi^3/min x 3	pi^3/min
2b.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre un débit de 0,5 à 1,5 pi^3/min par pi^2 de surface de plancher : _____ pi de largeur x _____ pi de longueur x 0,5 _____ pi de largeur x _____ pi longueur x 1,5	pi^3/min (intervalle) pi^3/min
2c.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour réaliser 3 à 4 renouv. d'air par heure : _____ pi de largeur x _____ pi de longueur x _____ pi de hauteur ÷ 60 min/h x 3 renouv./h = _____ pi de largeur x _____ pi de longueur x _____ pi de hauteur ÷ 60 min/h x 4 renouv./h =	pi^3/min (intervalle) pi^3/min
2d.	Capacité de débit du conduit de recirculation choisie dans l'intervalle des valeurs acceptables de _____ pi^3/min (selon les données obtenues en 2a, 2b et 2c)	pi^3/min
3.	Section transversale du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre une vitesse maximale de 800 à 1 200 pi/min dans le conduit : _____ pi^3/min de capacité de débit ÷ 800 pi/min = _____ pi^2 _____ pi^3/min de capacité de débit ÷ 1 200 pi/min = _____ pi^2	pi^2 (intervalle) pi^2
4a.	Choix d'un conduit circulaire présentant la section transversale voulue : diamètre 1 = ($\sqrt{}$(4 x superf. 1 de _____ pi^2 ÷ 3,14)) x 12 po/pi = diamètre 2 = ($\sqrt{}$(4 x superf. 2 de _____ pi^2 ÷ 3,14)) x 12 po/pi =	po de diam. po de diam.
4b.	Choix d'un conduit carré présentant la section transversale voulue : longueur de côté 1 = ($\sqrt{}$superf. 1 de _____ pi^2) x 12 po/pi = longueur de côté 2 = ($\sqrt{}$superf. 2 de _____ pi^2) x 12 po/pi =	____x____ po ____x____ po
4c.	Choix d'un conduit rectangulaire présentant la section transversale voulue : Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = superf. 1 de _____ pi^2 x 144 po^2/ pi^2 ÷ 12 po = Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = superf. 2 de _____ pi^2 x 144 po^2/ pi^2 ÷ 12 po = Si un côté a _____ po, la mesure de l'autre côté = superf. 1 de _____ pi^2 x 144 po^2/pi^2 ÷ 12 po = Si un côté a _____ po, la mesure de l'autre côté = superf. 2 de _____ pi^2 x 144 po^2/pi^2 ÷ 12 po =	12 po x ___ po 12 po x ___ po ___ po x ___ po ___ po x ___ po
4d.	Choix des dimensions du conduit (4a, 4b ou 4c)	
5.	Superficie totale des trous de distribution d'air : _____ pi^3/min de débit d'air dans le conduit ÷ 1 000 pi/min	pi^2
6.	Choix du diamètre des trous à partir de l'*annexe B* : diamètre de _____ po en fonction d'une portée de _____ pi du jet d'air	po
7.	Nombre de trous nécessaires : _____ pi^2 de superf. totale des trous ÷ 3,14 ÷ 4 x (_____ po de diam.)^2 ÷ 144 po^2/pi^2	trous
8.	Longueur du conduit de recirculation : inscrire la longueur utilisable du conduit en soustrayant l'espace nécessaire pour le ventilateur, la prise d'air ambiant et le raccord du conduit, s'il y a lieu	pi
9.	Trous à percer sur l'un des côtés du conduit ou les deux, selon l'emplacement du conduit et le choix d'une ou de deux directions de diffusion	côté(s)
10.	Espacement des trous : _____ pi de longueur du tuyau ÷ _____ trous ÷ _____ côtés x 12 po/pi	po centre en centre

Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure

1.	Surface de plancher : _____ pi de largeur x _____ pi de longueur	pi^2
2.	Capacité de ventilation totale requise pour assurer un débit de 1 à 3 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher : _____ pi^2 de surface de plancher x 1 pi^3/min/pi^2 = _____ pi^2 de surface de plancher x 3 pi^3/min/pi^2 =	pi^3/min (intervalle) pi^3/min
3.	Nombre de ventilateurs de circulation requis selon la capacité individuelle des appareils : capacité de ventilation minimale totale de___ pi^3/min ÷ capacité individuelle de 5 000 pi^3/min = capacité de ventilation maximale totale de___ pi^3/min ÷ capacité individuelle de 5 000 pi^3/min = capacité de ventilation minimale totale de___ pi^3/min ÷ capacité individuelle de 3 000 pi^3/min = capacité de ventilation maximale totale de___ pi^3/min ÷ capacité individuelle de 3 000 pi^3/min =	_____ ventilateurs _____ ventilateurs _____ ventilateurs _____ ventilateurs
4a.	Pour un circuit de *circulation en forme de piste de course*, nombre minimal de ventilateurs de circulation compte tenu d'un espacement maximal des ventilateurs ou des jets d'air de 100 pi (viser une distance comprise entre 60 et 90 pi) : _____ pi de périmètre du bâtiment ÷ 100 pi =	Minimum de _____ ventilateurs
4b.	Pour un circuit de *circulation en forme de piste de course*, nombre maximal de ventilateurs de circulation compte tenu d'un espacement minimal des ventilateurs ou des jets d'air de 60 pi (viser une distance comprise entre 60 et 90 pi) : _____ pi de périmètre du bâtiment ÷ 60 pi =	Maximum de _____ ventilateurs
4c.	Pour un circuit de *circulation en forme de piste de course*, nombre acceptable de ventilateurs de circulation compte tenu de leur capacité de soufflage individuelle et des données fournies en 3, 4a ou 4b) : Min. : _____ ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun Max. : _____ ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun	Minimum : _____ ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de _____ pi^3/min Maximum : _____ ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de _____ pi^3/min
4d.	Pour un circuit de *circulation en forme de piste de course*, nombre de ventilateurs de circulation et leur capacité de soufflage individuelle selon les critères énoncés en 2 et 4c (plusieurs choix sont possibles).	_____ ventilateurs d'une capacité de _____ pi^3/min chacun
5a.	Pour une *circulation transversale*, nombre minimal de ventilateurs de circulation, en comptant 1 ventilateur/2 500 pi^2 de surface de plancher : _____ pi^2 de surface de plancher ÷ 2 500 pi^2/ventilateur	_____ ventilateurs
5b.	Pour une *circulation transversale*, nombre maximal de ventilateurs de circulation, en comptant 1 ventilateur/1 500 pi^2 de surface de plancher : _____ pi^2 de surface de plancher ÷ 1 500 pi^2/ventilateur	_____ ventilateurs
5c.	Pour une *circulation transversale*, nombre acceptable de ventilateurs de circulation compte tenu de leur capacité de soufflage individuelle et des données fournies en 3, 5a et 5b : Min. : _____ ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun Max. : _____ ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun	Minimum : _____ ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de _____ pi^3/min Maximum : _____ ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de _____ pi^3/min
5d.	Pour une *circulation transversale*, nombre de ventilateurs de circulation et leur capacité de soufflage individuelle selon l'intervalle de valeurs indiqué en 5c (plusieurs choix sont possibles)	_____ ventilateurs d'une capacité de _____ pi^3/min chacun

3.4.6 Exemple de dimensionnement des entrées d'air dans une pouponnière à veaux

Une pouponnière à veaux mesurant 12 pi de largeur x 50 pi de longueur x 8 pi de hauteur (3,6 m x 15 m x 2,4 m) conçue pour accueillir 15 veaux depuis la naissance jusqu'à l'âge de 10 semaines doit être dotée d'un système de ventilation mécanique classique comportant un conduit de mélange et de recirculation de l'air. Les calculs suivants permettront de déterminer les dimensions des entrées d'air et l'architecture des conduits.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des entrées d'air – Exemple, partie I

1.	Nombre de **veaux laitiers** (type d'animal)	15 animaux
2.	Taux de renouvellement d'air par temps chaud (tiré de l'*annexe B*)	120 pi^3/min
3a.	Débit d'air maximal en fonction du nombre d'animaux : **15** animaux x **120** pi^3/min/animal	1 800 pi^3/min
3b.	Débit d'air maximal pour 1 renouvellement d'air par minute : **50** pi de longueur de la pièce x **12** pi de largeur de la pièce x **8** pi de hauteur de la pièce x 60 renouv. d'air/h ÷ 60 min/h	4800 pi^3/min
3c.	Débit d'air maximal en fonction d'autres critères précisés par le concepteur – **aucun autre critère précisé**	s/o
4.	Superficie minimale des prises d'air à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min : **1 800** pi^3/min x 2 pi^2/1 000 pi^3/min	3,6 pi^2
5.	Longueur minimale des prises d'air donnant sur le local ou le vide sous-toit (d'après les plans du bâtiment) : **2 petits murs d'extrémité; prise donnant sur le vide sous-toit** = (2 x 12) – 1	23 pi
6.	Largeur minimale de l'ouverture des prises d'air : **3,6** pi^2 ÷ **23** pi = **0,16** pi x 12 po/pi + 1 po pour le grillage	3 po
7.	Vitesse maximale d'admission de l'air par temps chaud : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	500 pi/min
8.	Superficie minimale des entrées d'air dans la pièce : **1 800** pi^3/min ÷ **500** pi/min	3,6 pi^2
9a.	Longueur des *fentes d'aération* requises (les fentes doivent être aussi continues que possible sur toute la longueur de la pièce)	46 pi
9b.	Nombre d'*entrées d'air modulaires* requises, selon la capacité de chacune : **1 800** pi^3/min ÷ **1 000** pi^3/min de capacité nominale indiquée par le fabricant	2 entrées
9c.	Nombre d'*entrées d'air modulaires* requises en comptant une entrée par longueur de 10 pi : **50** pi de longueur de la pièce ÷ 10 pi	5 entrées
9d.	Choix entre des *fentes d'aération* (9a) ou le nombre d'*entrées d'air modulaires* (9b ou **9c**)	s/o ou 5 entrées
10.	Longueur totale des entrées d'air, calculée selon le nombre d'entrées modulaires ou la longueur des fentes d'aération : **5** unités modulaires x **27** po ÷ 12 po/pi, ou **s/o** pi de fentes	11,3 pi
11.	Ouverture maximale des entrées d'air : **3,6** pi^2 de superficie des prises d'air ÷ **11,3** pi de longueur des entrées = **0,32** pi x 12 po/pi	3,8 in.
12a.	Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid (tiré de l'*annexe B*) : **12** pi^3/min/animal x **15** animaux	180 pi^3/min
12b.	Débit minimal par temps froid pour réaliser 4 renouv. d'air par heure : **50** pi de longueur x **12** pi de largeur x **8** pi de hauteur ÷ 60 min/h x 4 renouv./h	320 pi^3/min
12c.	Débit minimal par temps froid en fonction d'autres critères précisés par le concepteur – **aucun autre critère précisé**	s/o
13.	Vitesse minimale d'admission de l'air par temps froid : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	800 pi/min
14.	Superficie minimale des entrées d'air : **320** pi^3/min ÷ **800** pi/min	0,4 pi^2
15.	Largeur d'ouverture minimale des entrées d'air : **0,4** pi^2 de superficie des entrées ÷ **11,3** pi de longueur des entrées = **0,035** pi x (12 po/pi)	0,4 po

Notes explicatives pour la partie I : calculs de l'entrée d'air

1. Nombre d'animaux : 15 veaux, de la naissance jusqu'à l'âge de 10 semaines.

2. Donnée tirée de l'*annexe B* : taux de renouvellement d'air pour des veaux par temps chaud = 120 pi^3/min.

3a. Débit d'air maximal : 15 veaux x 120 pi^3/min = 1 800 pi^3/min.

3b. Débit d'air maximal pour réaliser 1 renouv./min : (12 pi x 50 pi x 8 pi x 60 renouv. d'air/h) ÷ 60 min/h = 4 800 pi^3/min. Ce débit est trop élevé pour des veaux; ce sont des animaux fragiles qui ne devraient jamais être exposés à des courants d'air.

3c. Dans certains cas, le concepteur aura ajouté des critères particuliers en s'appuyant sur son expérience du même type d'élevage. Par exemple, il aura prévu 2 renouvellements d'air par minute dans un poulailler où les pondeuses sont gardées en cage en concentrations élevées, de manière à éliminer plus rapidement la chaleur dégagée par les oiseaux et leur permettre de vivre dans des meilleures conditions.

4. Superficie minimale des prises d'air, à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min de capacité de débit. Le calcul se fait comme suit : 1 800 pi^3/min x 2 pi^2/1 000 pi^3/min = 3,6 pi^2.

5. Si le vide sous-toit est utilisé comme source d'air frais, il faudra y aménager une prise d'air sans obstruction d'au moins 3,6 pi^2 (plus, si possible). Si le seul espace de soffite libre se trouve sur les petits murs d'extrémité de ce local (qui a 12 pi de largeur), on disposera d'une longueur de 23 pieds de soffite utilisable comme prise d'air.

6. Largeur minimale de l'ouverture des prises d'air = 3,6 pi^2 ÷ (24 pi – 1 pi) = 0,16 pi x (12 po/pi) + 1 po pour le grillage = ouverture de 3 po de largeur le long des deux soffites.

7. Les veaux sont considérés comme des animaux fragiles. Comme la pièce est relativement étroite, on veillera à ce que la vitesse d'admission de l'air en été ne dépasse pas 500 pi/min.

8. La superficie des entrées d'air au plafond est égale à : 1 800 pi^3/min ÷ 500 pi/min = 3,6 pi^2.

9a. Si on choisit des fentes d'aération, celles-ci doivent courir sur toute la longueur de la pièce, moins l'espace nécessaire pour faire passer l'actionneur à câbles et le poids de mise sous tension du câble. Pour la pièce dont il est ici question, on pourrait installer 46 pieds de fentes, ce qui serait beaucoup trop, compte tenu du faible volume d'air frais nécessaire.

9b. Nombre d'entrées d'air modulaires requises, selon la capacité de chacune : 1 800 pi^3/min ÷ 1 000 pi^3/min de capacité nominale indiquée par le fabricant = 2 entrées.

9c. Nombre d'entrées d'air modulaires requises, les unités étant espacées d'au plus 10 pi centre en centre de façon à assurer un circuit de circulation décrivant une boucle complète. Le nombre d'entrées se calcule comme suit : 50 pi ÷ 10 pi = 5 entrées pour couvrir la longueur de 50 pieds de la pièce.

9d. Un bon choix pour la pièce dont il est ici question est l'installation de 5 entrées modulaires au plafond.

10. La longueur totale des entrées d'air se calcule comme suit : (5 entrées modulaires x 27 po/entrée) ÷ 12 po/pi = 11,3 pi.

11. L'ouverture maximale des entrées d'air est de 3,6 pi^2 ÷ 11,3 pi = 0,32 pi ou 3,8 po. Si on installe six entrées d'air (plutôt que les cinq entrées minimales), l'ouverture serait encore plus petite et le débit d'air un peu plus uniforme, puisque l'espacement des entrées se trouverait réduit. Il faut surtout éviter de choisir des entrées trop petites et de trop les espacer sur une même rangée.

12a. Le taux de renouvellement d'air minimal par temps froid dans cette pouponnière *(annexe B)* est le suivant : 12 pi^3/min/veau x 15 veaux = 180 pi^3/min.

12b. En raison de la litière accumulée dans les stalles, il faudra plutôt viser 4 renouvellements d'air par heure. On aura donc : 12 pi x 50 pi x 8 pi ÷ 60 min/h = 80 x 4 renouv. d'air/h = 320 pi^3/min.

12c. Dans certains cas, le concepteur du système aura ajouté des critères particuliers en s'appuyant sur son expérience du même type d'élevage. Par exemple, il pourra avoir réduit le taux minimal de renouvellements d'air à trois par heure en raison d'un nettoyage plus fréquent de la litière ou il pourra avoir établi un taux minimal de renouvellement d'air qui tient compte de l'influence d'un ventilateur d'extraction de palier 1 déjà en place.

13. Compte tenu de l'étroitesse de la pièce, une vitesse d'admission de l'air frais en hiver de 800 pi/min environ est suffisante.

14. Pour réaliser le taux minimal de renouvellement d'air, la superficie des entrées d'air devra être de : 320 pi^3/min ÷ 800 pi/min = 0,4 pi^2.

15. La largeur d'ouverture minimale des entrées d'air, en supposant que la longueur des panneaux atteigne 11,3 pi, sera de : 0,4 pi^2 ÷ 11,3 pi = 0,035 pi x 12 po/pi = 0,4 po.

Remarque : Les cinq entrées d'air modulaires de plafond retenues pour cette pouponnière à veaux fonctionneront selon une largeur d'ouverture minimale d'environ 0,4 po et une largeur d'ouverture maximale de 4 po. En situation idéale, ces entrées d'air s'ouvriront et se fermeront automatiquement grâce à l'intervention d'un actionneur à câbles réglé en fonction des températures de consigne des ventilateurs d'extraction. On pourra aussi utiliser des entrées d'air auto-équilibrées.

Partie II : Dimensionnement des conduits de recirculation

Compte tenu du faible taux de renouvellement de l'air par temps froid dans ce bâtiment, on peut difficilement s'attendre à ce que le débit minimal du ventilateur crée suffisamment de pression statique pour donner un bon jet d'air à chaque entrée d'air dans le bâtiment. C'est pourquoi il est recommandé d'ajouter un conduit de recirculation qui augmentera la puissance du jet d'air frais et créera un circuit de circulation stable dans toute la pièce, indépendamment du taux de renouvellement de l'air.

Feuille de calcul servant au dimensionnement du conduit de recirculation – Exemple, partie II

1a.	Taux minimal de renouvellement d'air par temps froid (donnée tirée de l'*annexe B*) : **12** pi³/animal x **15** animaux	180 pi³/min
1b.	Débit d'air minimal par temps froid pour réaliser 4 renouvellements d'air par heure : **50** pi de longueur de la pièce x **12** pi de largeur de la pièce x **8** pi de hauteur de la pièce) ÷ 60 min/h x 4 renouv./h = **80** x 4 renouv./h	320 pi³/min
1c.	Débit d'air minimal par temps froid en fonction d'autres critères précisés par le concepteur – **Aucun autre critère précisé**	s/o
2a.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre trois fois le débit prévu par temps froid (1a, **1b**, 1c) : **320** pi³/min x 3	960 pi³/min
2b.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre un débit de 0,5 à 1,5 pi³/min ÷ pi² de surface de plancher : **12** pi de largeur x **50** pi de longueur x 0,5 **12** pi de largeur x **50** pi longueur x 1,5	300 pi³/min (intervalle) 900 pi³/min
2c.	Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour réaliser 3 à 4 renouv. d'air par heure : **12** pi de largeur x **50** pi de longueur x **8** pi de hauteur ÷ 60 min/h x 3 renouv./h = **12** pi de largeur x **50** pi de longueur x **8** pi de hauteur ÷ 60 min/h x 4 renouv./h =	240 pi³/min (intervalle) 320 pi³/min
2d.	Capacité de débit du conduit de recirculation choisie dans l'intervalle des valeurs acceptables de **240 à 960** pi³/min (selon les données obtenues en 2a, 2b et 2c)	600 pi³/min
3.	Section transversale du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre une vitesse maximale de 800 à 1 200 pi/min dans le conduit : **600** pi³/min de capacité de débit ÷ 800 pi/min = **0,75** pi² **600** pi³/min de capacité de débit ÷ 1 200 pi/min = **0,50** pi²	0,75 pi² (intervalle) 0,50 pi²
4a.	Choix d'un *conduit circulaire* présentant la section transversale voulue : diamètre 1 = (√(4 x superf. 1 de **0,75** pi² ÷ 3,14)) x 12 po/pi = diamètre 2 = (√(4 x superf. 2 de **0,50** pi² ÷ 3,14)) x 12 po/pi =	11,7 po de diam. 9,6 po de diam.
4b.	Choix d'un *conduit carré* présentant la section transversale voulue : longueur de côté 1 = (√superf. 1 de **0,75** pi²) x 12 po/pi = longueur de côté 2 = (√superf. 2 de **0,50** pi²) x 12 po/pi =	10,4 po x 10,4 po 8,5 po x 8,5 po.
4c.	Choix d'un conduit rectangulaire présentant la section transversale voulue : Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = superf. 1 de **0,75** pi² x 144 po²/pi² ÷ 12 po = Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = superf. 2 de **0,50** pi² x 144 po²/pi² ÷ 12 po =	12 po x 9 po 12 po x 6 po
4d.	Choix des dimensions du conduit (4a, **4b** ou 4c)	10 po de diam.
5.	Superficie totale des trous de distribution d'air : **600** pi³/min de débit d'air dans le conduit ÷ 1 000 pi/min	0,6 pi²
6.	Choix du diamètre des trous à partir de l'*annexe B* : diamètre de **1,25** po en fonction d'une portée de **11** pi du jet d'air	1,25 po
7.	Nombre de trous nécessaires : **0,6** pi² de superf. totale des trous ÷ 3,14 ÷ 4 x (**1,25** po de diam.)² ÷ 144 po²/pi²	71 trous
8.	Longueur du conduit de recirculation : inscrire la longueur utilisable du conduit en soustrayant l'espace nécessaire pour le ventilateur, la prise d'air ambiant et le raccord du conduit, s'il y a lieu	48 pi
9.	Trous à percer sur l'un des côtés du conduit ou les deux, selon l'emplacement du conduit et le choix d'une ou de deux directions de diffusion	1 côté
10.	Espacement des trous : **48** pi de longueur du tuyau ÷ **71** trous ÷ **1** côté x 12 po/pi	8 po centre en centre

Notes explicatives pour la partie II : calculs relatifs au conduit de recirculation

1a. Taux minimal de renouvellement d'air par temps froid : 12 pi^3/min/veau x 15 veaux = 180 pi^3/min.

1b. Débit d'air minimal par temps froid pour réaliser 4 renouvellements d'air par heure :
local de 50 pi de longueur x 12 pi de largeur x 8 pi de hauteur x 4 renouv./h ÷ 60 min/h = 320 pi^3/min.
Ce taux de renouvellement d'air minimal est souvent retenu en présence de litière accumulée, car celle-ci accroît l'humidité et les odeurs, ou en présence de fumier liquide ou d'aliments à teneur nutritive élevée, qui peuvent dégager de fortes odeurs.

1c. Dans certains cas, le concepteur aura ajouté des critères particuliers en s'appuyant sur son expérience du même type d'élevage. Par exemple, il pourra avoir réduit le taux minimal de renouvellements d'air à trois par heure en raison d'un nettoyage plus fréquent de la litière ou il pourra avoir établi un taux minimal de renouvellement d'air qui tient compte de l'influence d'un ventilateur d'extraction de palier 1 déjà en place.

2a. Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre trois fois le débit prévu par temps froid :
3 x 320 pi^3/min = 960 pi^3/min.

2b. Capacité de débit du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre un débit de 0,5 à 1,5 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher :
0,5 pi^3/min/pi^2 x 12 pi x 50 pi = 300 pi^3/min.
1,5 pi^3/min/pi^2 x 12 pi x 50 pi = 900 pi^3/min.

2c. Capacité de débit du conduit de recirculation pour réaliser 3 à 4 renouv. d'air par heure :
3 renouv./h = 3 x 12 pi x 50 pi x 8 pi ÷ 60 min/h = 240 pi^3/min.
4 renouv./h = 4 x 12 pi x 50 pi x 8 pi ÷ 60 min/h = 320 pi^3/min.

2d. Capacité de débit du conduit de recirculation choisi entre 240 et 900 pi^3/min.
Pour le présent exemple, on retiendra 600 pi^3/min.

3. Section transversale du conduit de recirculation nécessaire pour atteindre une vitesse de 800 à 1 200 pi/min dans le conduit :
Section minimale pour atteindre la vitesse inférieure = 600 pi^3/min ÷ 800 pi/min = 0,75 pi^2
Section minimale pour atteindre la vitesse supérieure = 600 pi^3/min ÷ 1 200 pi/min = 0,50 pi^2
La section transversale du conduit doit donc se situer entre 0,5 et 0,75 pi^2.

4a. Choix d'un conduit *circulaire* présentant la section transversale voulue :
Diamètre 1 = ($\sqrt{}$(4 x 0,75 pi^2 ÷ 3,14)) x 12 po/pi = 11,7 po
Diamètre 2 = ($\sqrt{}$(4 x 0,50 pi^2 ÷ 3,14)) x 12 po/pi = 9,6 po
C'est donc dire qu'un tuyau rond présentant un diamètre de 10 ou 12 po fera l'affaire.
À noter que les conduits de plus grande taille sont tout à fait convenables (ils permettent de réduire les vitesses d'écoulement dans le conduit), mais ils coûtent généralement plus cher et créent des obstructions plus importantes.

4b. Choix d'un conduit *carré* présentant la section transversale voulue :
Longueur de côté 1 = ($\sqrt{}$0,75 pi^2) x 12 po/pi = 10,4 po
Longueur de côté 2 = ($\sqrt{}$0,50 pi^2) x 12 po/pi = 8,5 po
Donc, un conduit carré de 9 ou 10 po de côté fera l'affaire.
À noter que ces dimensions excluent tout élément d'encadrement pouvant réduire la superficie libre de la section transversale du conduit.

4c. Choix d'un conduit *rectangulaire* présentant la section transversale voulue :
Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = 0,75 pi^2 x 144 in^2/pi^2 ÷ 12 po/pi = 9 po
Si un côté a 12 po, la mesure de l'autre côté = 0,50 pi^2 x 144 in^2/pi^2 ÷ 12 po/pi = 6 po
Donc, un conduit rectangulaire de 6 po x 12 po ou de 9 po x 12 po fera l'affaire.
À noter que ces dimensions excluent tout élément d'encadrement pouvant réduire la superficie libre de la section transversale.
Dans certains cas, il ne serait pas possible d'installer un conduit rectangulaire dont un des côtés aurait 12 po. Le cas échéant, on choisira d'autres dimensions et on refera les calculs en conséquence.

4d. L'examen des calculs effectués en 4a, 4b et 4c permet de conclure qu'on pourrait admettre différentes tailles de conduits. Dans le présent cas, le concepteur a choisi des conduits circulaires de 12 po de diamètre, mais on pourrait leur substituer des conduits carrés ou rectangulaires.

Diamètre et nombre de trous de distribution d'air percés le long du conduit de recirculation. Dans la pièce ou le local de 12 pi de largeur dont il est ici question, on installera le conduit au-dessus des animaux, le long d'un mur long et sous les entrées d'air frais, de façon que la totalité de l'air (air frais et air recirculé) soit dirigée en travers de la pièce, à sa partie supérieure, et dans le couloir de service situé à l'avant de la rangée d'enclos.

5. La superficie totale des trous de distribution d'air dont on aura besoin se calcule comme suit : 600 pi^3/min ÷ (1 000 pi/min) = 0,6 pi^2.

6. Choix du diamètre des trous à partir de l'*annexe B*. Le diamètre de 1,25 po a été retenu en se basant sur une portée de 11 pi du jet d'air.

7. Comme chaque trou possède une superficie de 0,0085 pi^2, il suffira de diviser 0,6 pi^2 par 0,0085 pi^2 pour obtenir le nombre de trous requis, soit 71.

8. La longueur du conduit sera limitée à 48 pi de manière à laisser suffisamment d'espace libre pour le ventilateur et la prise d'air ambiant.

9. Comme la pièce est étroite (12 pi) et que la portée du jet d'air est de 11 pi, on percera les trous sur un côté seulement.

10. L'espacement des trous se calcule comme suit : 48 pi ÷ 71 trous = 0,67 pi x 12 po/pi = 8 po centre en centre.

Remarque : Dans le cas présent, la solution consistera à installer un conduit de recirculation circulaire de 10 po de diamètre et 48 pi de long, qu'on percera de trous de 1,25 po tous les 8 po centre en centre sur un des côtés. Ces trous doivent être situés à mi-hauteur du conduit, de façon que leur jet soit dirigé horizontalement en travers de la pièce, sous les entrées d'air frais. En se mélangeant, les deux jets d'air (extérieur et intérieur) assureront une circulation continue et régulière d'air chaud, quel que soit le taux général de renouvellement d'air dans la pièce.

Le ventilateur de recirculation devra faire face à une pression statique légèrement supérieure, dans la mesure où chaque trou dans le conduit oppose en périphérie une certaine résistance au passage de l'air (l'air s'écoule en plus grande quantité au centre du trou que sur ses bords). Ce phénomène, souvent désigné par l'expression latine vena contracta (section contractée), réduit l'efficacité de l'orifice d'environ 25 % et augmente la pression statique jusqu'à environ 0,10 po CE. Le ventilateur de recirculation qui alimente le conduit doit donc affronter une pression légèrement supérieure et être dimensionné en conséquence, de manière à pouvoir insuffler dans le système 600 pi^3 d'air/min malgré cette pression accrue. Pour faciliter le réglage du système, on peut installer un ventilateur légèrement surdimensionné et utiliser ensuite un régulateur de vitesse à commande manuelle pour ajuster à la baisse le débit de recirculation.

La figure 3.35 montre le plan du système de ventilation correspondant à l'exemple présenté ci-dessus. L'air frais alimentant les entrées d'air provient du vide sous-toit. Le conduit de recirculation procure un circuit de circulation constant.

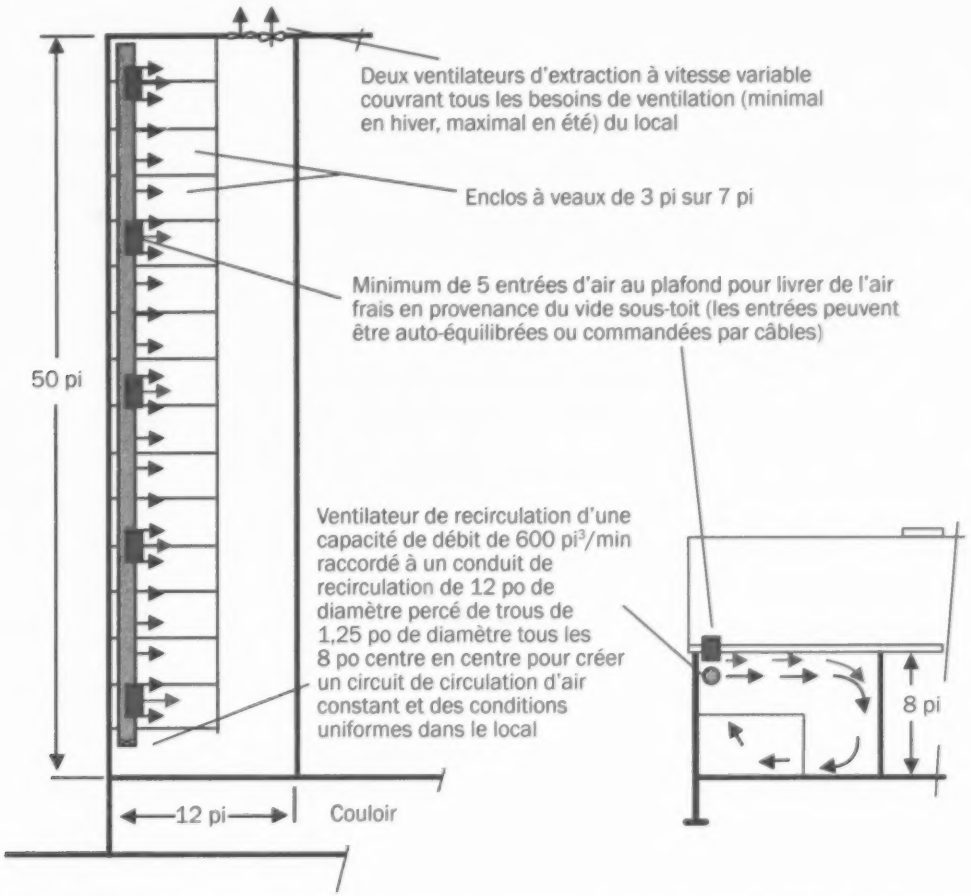


Figure 3.35 Plan d'étage d'une pouponnière à veaux et vue transversale d'une stalle montrant l'architecture du système assurant la ventilation du local

3.5 Exemple de dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure dans un poulailler de poulets à griller

Il s'agit d'un bâtiment de 48 pi x 250 pi (14,6 m x 76,2 m) qu'on veut doter d'un système de circulation intérieure. Calculer le nombre et la taille des ventilateurs à installer.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs de circulation intérieure dans un poulailler de poulets à griller

1.	Surface de plancher : **48** pi de largeur x **250** pi de longueur	12 000 pi^2
2.	Capacité de ventilation totale requise pour assurer un débit de 1 à 3 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher : **12 000** pi^2 de surface de plancher x 1 pi^3/min/pi^2 = **12 000** pi^2 de surface de plancher x 3 pi^3/min/pi^2 =	12 000 pi^3/min (intervalle) 36 000 pi^3/min
3.	Nombre de ventilateurs de circulation requis selon la capacité individuelle des appareils : capacité de ventilation minimale totale de **12 000** pi^3/min ÷ capacité individuelle de 5 000 pi^3/min = capacité de ventilation maximale totale de **36 000** pi^3/min ÷ capacité individuelle de 5 000 pi^3/min = capacité de ventilation minimale totale de **12 000** pi^3/min ÷ capacité individuelle de 3 000 pi^3/min = capacité de ventilation maximale totale de **36 000** pi^3/min ÷ capacité individuelle de 3 000 pi^3/min =	(intervalle) 3 ventilateurs 8 ventilateurs 4 ventilateurs 12 ventilateurs
4a.	Pour un *circuit de circulation en forme de piste de course*, nombre minimal de ventilateurs de circulation compte tenu d'un espacement maximal des ventilateurs ou des jets d'air de 100 pi (viser une distance comprise entre 60 et 90 pi) : **(2 x 48) + (2 x 250)** pi de périmètre du bâtiment ÷ 100 pi =	Minimum de 6 ventilateurs
4b.	Pour un *circuit de circulation en forme de piste de course*, nombre maximal de ventilateurs de circulation compte tenu d'un espacement minimal des ventilateurs ou des jets d'air de 60 pi (viser une distance comprise entre 60 et 90 pi) : **(2 x 48) + (2 x 250)** pi de périmètre du bâtiment ÷ 60 pi =	Maximum de 10 ventilateurs
4c.	Pour un *circuit de circulation en forme de piste de course*, nombre acceptable de ventilateurs de circulation compte tenu de leur capacité de soufflage individuelle et des données fournies en 3, 4a ou 4b) : Min. : **6** ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun Max. : **10** ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun	Minimum de 6 ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de 18 000 à 30 000 pi^3/min Maximum de 10 ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de 30 000 à 50 000 pi^3/min
4d.	Pour un *circuit de circulation en forme de piste de course*, nombre de ventilateurs de circulation et leur capacité de soufflage individuelle selon les critères énoncés en 2 et 4c (plusieurs choix sont possibles).	6 ventilateurs d'une capacité de 4 000 pi^3/min chacun
5a.	Pour une *circulation transversale*, nombre minimal de ventilateurs de circulation, en comptant 1 ventilateur/2 500 pi^2 de surface de plancher : **12 000** pi^2 de surface de plancher ÷ 2 500 pi^2/ventilateur	5 ventilateurs
5b.	Pour une *circulation transversale*, nombre maximal de ventilateurs de circulation, en comptant 1 ventilateur/1 500 pi^2 de surface de plancher : **12 000** pi^2 de surface de plancher ÷ 1 500 pi^2/ventilateur	8 ventilateurs
5c.	Pour une *circulation transversale*, nombre acceptable de ventilateurs de circulation compte tenu de leur capacité de soufflage individuelle et des données fournies en 3, 5a et 5b : Min. : **5** ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun Max. : **8** ventilateurs d'une capacité de 3 000 à 5 000 pi^3/min chacun	Minimum de 5 ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de 15 000 à 25 000 pi^3/min Maximum de 8 ventilateurs procurant une capacité de ventilation totale de 24 000 à 40 000 pi^3/min
5d.	Pour une *circulation transversale*, nombre de ventilateurs de circulation et leur capacité de soufflage individuelle selon l'intervalle de valeurs indiqué en 5c (plusieurs choix sont possibles)	6 ventilateurs d'une capacité de 4 000 pi^3/min chacun

Notes explicatives concernant les calculs relatifs aux ventilateurs de circulation intérieure

1. La surface de plancher brute est de 48 pi x 250 pi = 12 000 pi^2.

2 Les besoins de circulation d'air à l'intérieur du local oscillent entre 1 et 3 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher, soit une capacité de ventilation totale de 12 000 à 36 000 pi^3/min. Règle générale, le concepteur choisit une valeur à mi-chemin, mais il peut aussi s'orienter vers la valeur inférieure pour des animaux fragiles ou la valeur supérieure pour des animaux plus tolérants aux courants d'air.

3. La capacité des ventilateurs les plus couramment utilisés pour la circulation intérieure varie entre 3 000 et 5 000 pi^3/m lorsqu'ils tournent à plein régime (mais ils sont rarement utilisés à plein régime pendant les trois saisons les plus fraîches). À partir de ces données et de la valeur de la capacité de ventilation totale requise calculée en 2 ci-dessus, on peut déterminer le nombre total de ventilateurs à installer dans chaque cas. Les calculs montrent qu'il faudra dans le présent cas de 3 à 8 ventilateurs d'une capacité individuelle de 5 000 pi^3/min ou de 4 à 12 appareils d'une capacité individuelle de 3 000 pi^3/min.

4a. Pour créer un circuit de circulation en forme de piste de course, les ventilateurs doivent être répartis le long des côtés longs du local, à une distance ne dépassant pas 100 pi l'un de l'autre, ce qui suppose dans ce cas-ci l'installation de 6 ventilateurs.

4b. Pour créer un circuit de circulation en forme de piste de course, les ventilateurs ne doivent pas être placés à moins de 60 pi l'un de l'autre. Avec cet espacement, il faudra dans le cas présent 10 ventilateurs pour créer un circuit de circulation décrivant une boucle complète.

4c. Les calculs ci-dessus (3, 4a et 4b) indiquent que le nombre minimal de ventilateurs requis pour créer un circuit en forme de piste de course est de 6 et que leur capacité individuelle doit être comprise entre 3 000 et 5 000 pi^3/min, pour une capacité de ventilation totale de 18 000 à 30 000 pi^3/min. Le nombre maximal de ventilateurs est de 10, pour une capacité de ventilation totale de 30 000 à 50 000 pi^3/min.

4d. Les calculs ci-dessus (2, 4c) indiquent que pour créer un circuit en forme de piste de course, le concepteur doit utiliser un certain nombre de ventilateurs d'une capacité donnée. Plusieurs choix sont possibles, parmi lesquels :
6 ventilateurs d'une capacité de 3 000, 4 000 ou 5 000 pi^3/min chacun
7 ventilateurs d'une capacité de 3 000, 4 000 ou 5 000 pi^3/min chacun
8 ventilateurs d'une capacité de 3 000 ou 4 000 pi^3/min chacun
9 ventilateurs d'une capacité de 3 000 ou 4 000 pi^3/min chacun
10 ventilateurs d'une capacité de 3 000 pi^3/min chacun

Comme ces ventilateurs fonctionnent en permanence et qu'ils consomment de l'énergie, on aura avantage à utiliser le moins d'appareils possible. Dans ce cas-ci, on a retenu une configuration comportant six ventilateurs d'une capacité individuelle de 4 000 pi^3/min, pour une capacité de ventilation totale de 24 000 pi^3/min. Voir la figure 3.36 qui présente le plan général suggéré pour un système de circulation en forme de piste de course.

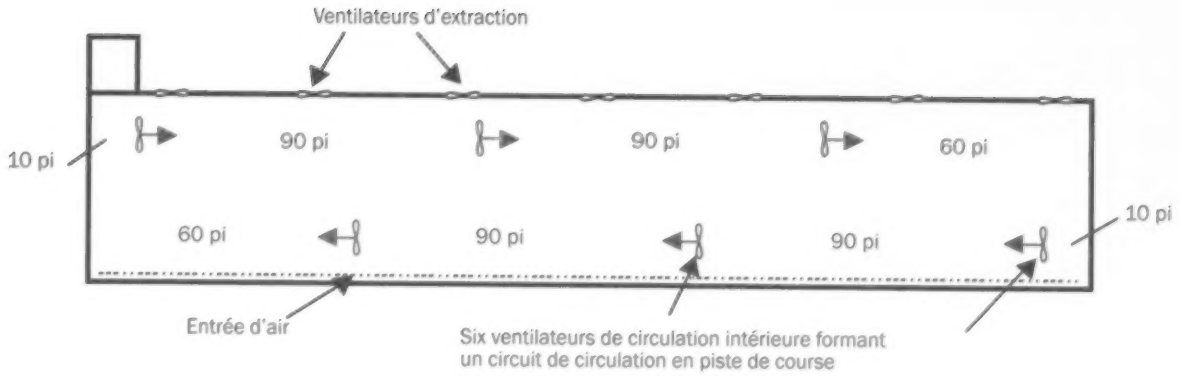


Figure 3.36 Vue en plan d'une installation où les ventilateurs de circulation sont disposés de manière à produire un circuit de circulation en piste de course dans le poulailler de poulets à griller de 48 pi x 250 pi donné en exemple

5a. La circulation intérieure peut aussi se faire de manière transversale. On dirige alors le jet d'air des ventilateurs en travers du local, dans le sens de la largeur. Cette circulation transversale est d'ailleurs privilégiée pour les locaux de plus de 50 pieds de largeur. L'air peut circuler dans une seule direction ou suivre des voies entrecroisées. Pour une circulation transversale, il faut prévoir au moins un ventilateur pour chaque tranche de 2 500 pi^2 de surface de plancher (dans ce cas-ci, 12 000 pi^2 ÷ 2 500 pi^2 = 5 ventilateurs).

5b. Le nombre maximal de ventilateurs de circulation se calcule comme suit : un ventilateur pour 1 500 pi^2 de surface de plancher, soit 12 000 pi^2 ÷ 1 500 pi^2 = 8 ventilateurs.

5c. Les calculs ci-dessus (3, 5a et 5b) indiquent que le nombre minimal de ventilateurs pour une circulation transversale est de cinq et que leur capacité individuelle varie entre 3 000 et 5 000 pi^2/min, ce qui représente une capacité de ventilation totale de 15 000 à 25 000 pi^3/min. Le nombre maximal de ventilateurs est de huit et la capacité de ventilation totale se situe entre 24 000 et 40 000 pi^3/min.

5d. Les critères présentés en 2 et 5c ci-dessus indiquent que dans le cas d'une circulation transversale, le concepteur devra prendre une décision quant au nombre de ventilateurs à installer et à leur capacité individuelle. Plusieurs choix sont possibles, parmi lesquels :

5 ventilateurs d'une capacité de 3 000, 4 000 ou 5 000 pi^3/min chacun
6 ventilateurs d'une capacité de 3 000, 4 000 ou 5 000 pi^3/min chacun
7 ventilateurs d'une capacité de 3 000, 4 000 ou 5 000 pi^3/min chacun
8 ventilateurs d'une capacité de 3 000 ou 4 000 pi^3/min chacun

Remarque : Comme ces ventilateurs fonctionnent en permanence et qu'ils consomment de l'énergie, on aura avantage à utiliser le moins d'appareils possible. Dans le présent exemple de bâtiment doté d'une circulation transversale, on a retenu une configuration comportant 6 ventilateurs d'une capacité individuelle de 4 000 pi^3/min, pour une capacité de ventilation totale de 24 000 pi^3/min. Voir la figure 3.37 qui présente le plan général suggéré pour une circulation transversale.

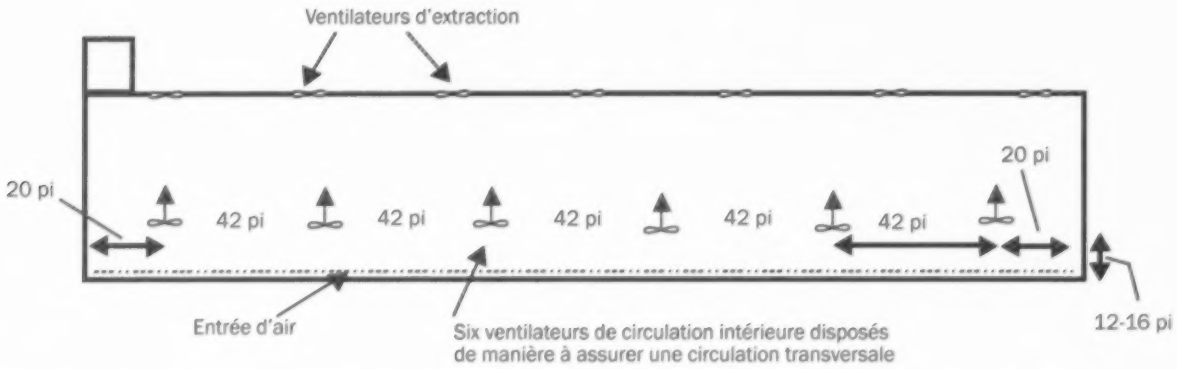


Figure 3.37 Vue en plan d'une installation où les ventilateurs de circulation intérieure sont disposés de manière à assurer une circulation transversale dans le poulailler de poulets à griller de 48 pi x 250 pi donné en exemple

Table des matières

4. Ventilateurs 71

4.1 Systèmes de ventilation mécanique 71
4.2 Taux de renouvellement d'air pour l'Ontario 72
4.3 Ventilation par palier 72
4.4 Composants des ventilateurs 73
4.5 Capacité de ventilation et pression statique 74
4.5.1 Effet vent 75
4.6 Bruit 77
4.7 Moteurs 77
4.8 Ventilateurs à une ou à deux vitesses 77
4.9 Ventilateurs à vitesse variable 77
4.10 Systèmes d'entraînement des ventilateurs 78
4.11 Pales des ventilateurs 79
4.12 Couvercles des ventilateurs 79
4.13 Emplacement des ventilateurs 80
4.14 Types de ventilateurs 81
4.14.1 Ventilateurs muraux 81
4.14.2 Ventilateurs de cheminée 82
4.14.3 Ventilateurs de fosse 82
4.14.4 Ventilateurs de circulation intérieure 83
4.14.5 Ventilateurs à circulation horizontale 83
4.14.6 Ventilateurs à circulation verticale 84
4.15 Choix des ventilateurs 84
4.15.1 Ventilation minimale ou visant à assurer une maîtrise de l'humidité (palier 1) 85
4.15.2 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps doux (paliers intermédiaires) 86
4.15.3 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps très chaud (palier final) 86
4.16 Taux de renouvellement d'air dans un grand local d'engraissement-finition abritant 200 porcs 88

4. Ventilateurs

Les ventilateurs fournissent la puissance nécessaire au renouvellement de l'air dans les bâtiments d'élevage ventilés mécaniquement. Voici les cinq principaux facteurs à considérer lors du choix d'un ventilateur :

- le type de ventilateur (mural, de cheminée, de fosse, etc.);
- le débit d'air (compte tenu de la pression statique);
- l'efficacité énergétique combinée des composants;
- la durabilité et l'entretien;
- le niveau de bruit.

L'Ontario connaît une grande diversité de conditions climatiques, et les taux de renouvellement d'air requis dans les bâtiments d'élevage de bétail et de volaille de la province peuvent varier par un facteur d'au moins 15. Dans le présent chapitre, on présente les divers systèmes de ventilation mécanique, on indique les différents types de ventilateurs et quand ils sont utilisés et on précise les facteurs à prendre en considération dans le choix des ventilateurs et des dispositifs de régulation utilisés dans les bâtiments d'élevage modernes.

4.1 Systèmes de ventilation mécanique

Il existe trois principaux types de systèmes de ventilation mécanique : à pression négative, à pression positive et à pression neutre. Tous ces systèmes utilisent des ventilateurs pour déplacer l'air; les systèmes à pression négative sont les plus couramment utilisés en Ontario et dans le reste du Canada.

Pression négative

Un système à pression négative utilise des ventilateurs pour évacuer l'air d'un bâtiment. Ce mouvement crée un déséquilibre (pression négative), la pression relative à l'intérieur du bâtiment étant abaissée sous la pression atmosphérique extérieure. L'air tente de pénétrer à l'intérieur du bâtiment là où il peut pour neutraliser ou corriger ce déséquilibre. Dans ce système, les entrées d'air sont les endroits où l'air pénètre le plus facilement. Les schémas de circulation intérieure de l'air s'améliorent lorsque la vitesse de l'air passant par les entrées d'air est maintenue dans la fourchette de 800-1 000 pi/min (4-5 m/s) en hiver. Une vitesse d'admission d'air de beaucoup inférieure ne permettrait pas à l'air froid de se mélanger avec la masse d'air déjà présente dans le local. Cet air froid descendrait immédiatement au niveau du plancher, où il formerait une couche froide à la hauteur des animaux.

Le système à pression négative est privilégié pour deux raisons principales :

- La pression négative créée permet au concepteur de placer les entrées d'air à des endroits stratégiques pour les schémas de ventilation et la distribution uniforme de l'air dans le local.
- La faible différence de pression de l'air créée (< 0,10 po CE) permet l'utilisation de ventilateurs d'extraction peu coûteux, basse pression et éconergétiques.

Pression positive

Le système à pression positive est à l'opposé d'un système à pression négative. L'air frais est forcé à l'intérieur, puis est canalisé dans un réseau de conduits assurant sa distribution dans le bâtiment. Comme l'air est forcé dans le bâtiment, la pression est plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur du bâtiment. Une série d'orifices d'aération dotés de contrepoids et s'ouvrant vers l'extérieur permettent à l'air vicié de sortir du bâtiment.

Le système à pression positive n'est pas privilégié pour deux raisons :

- Une pression positive dans le bâtiment signifie que l'air est poussé dans toutes les fissures et ouvertures de la structure isolée, incluant le vide sous-toit. Cet air chaud et humide se condense en hiver et accélère la détérioration de la structure.
- Des conduits d'air de très grandes dimensions doivent être installés pour la canalisation du débit d'air requis en été.

Pression neutre

Un système à pression neutre utilise un ventilateur à la fois pour l'admission et l'extraction de l'air. Pour chaque ventilateur utilisé pour évacuer l'air intérieur à l'extérieur du bâtiment, un autre ventilateur est utilisé pour forcer l'air extérieur à l'intérieur du bâtiment.

Deux points doivent être pris en considération dans le choix d'un système à pression neutre :

- Au minimum, deux ventilateurs sont requis pour faire entrer et faire sortir l'air – là où un seul pourrait être utilisé –, ce qui augmente les coûts d'investissement et de fonctionnement du système de ventilation.
- Les ventilateurs d'admission sont placés ici et là dans le bâtiment, ce qui exige la mise en place de diffuseurs, de buses et de conduits pour distribuer uniformément l'air frais dans le local.

4.2 Taux de renouvellement d'air pour l'Ontario

L'annexe B indique les taux de renouvellement d'air recommandés pour divers types d'animaux d'élevage. Les taux sont fonction des données relatives à la quantité de chaleur et d'humidité produite par les animaux et sont corrigés en fonction de l'expérience pratique des concepteurs de systèmes de ventilation. Par exemple, le maintien d'une bonne qualité d'air par temps froid dans un local avec de la litière accumulée et une faible densité d'animaux (p. ex. génisses de remplacement) exige une ventilation hivernale additionnelle en plus de celle qui est nécessaire à la maîtrise de l'humidité. De façon similaire, les animaux sensibles et densément logés (p. ex. porcs en pouponnière) ont froid si le débit d'air estival est uniquement basé sur le nombre et le gabarit des animaux et ne tient pas compte du volume d'air que contient le local. Un taux de renouvellement d'air maximal pratique correspond à 1 renouvellement d'air par minute pour ces animaux sensibles. Par contre, des poulets densément logés dans un local dont les plafonds sont hauts exigent un débit d'air additionnel par oiseau pour assurer au moins 1 renouvellement d'air complet par minute et l'évacuation de toute leur énergie thermique au fur et à mesure qu'elle est produite.

4.3 Ventilation par palier

Compte tenu de la grande variation des taux de renouvellement d'air requis dans les bâtiments qui abritent du bétail et de la volaille, il faut souvent y faire fonctionner les ventilateurs selon des vitesses variables ou des cycles marche-arrêt pour que la capacité de ventilation corresponde au taux de renouvellement d'air souhaité. À chaque nouveau palier de ventilation, la quantité d'air évacuée ne doit pas correspondre à plus du double de tous les paliers précédents – c'est ce qu'on appelle la règle du double (figure 4.1) – et ce, afin de prévenir l'entrée de quantités massives d'air frais extérieur dans le bâtiment, ce qui créerait une chute marquée de la température et des courants d'air.

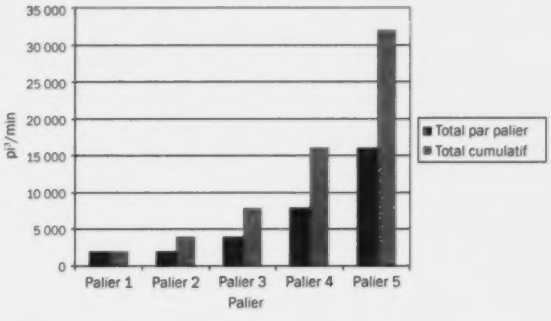


Figure 4.1 Règle du double pour un système de ventilation à cinq paliers

Dans l'exemple qui suit, l'analyse des besoins de ventilation d'un bâtiment d'élevage a permis de déterminer un débit d'air minimal de 2 000 pi³/min et un débit d'air maximal de 32 000 pi³/min. En utilisant la règle du double, on obtient les calculs suivants pour les paliers de ventilation :

1. Palier 1, débit maximal = 2 000 pi³/min :
   - total brut de tous les paliers précédents = 2 000 pi³/min
2. Palier 2 = 2 x total brut = 2 x 2 000 pi³/min = 4 000 pi³/min :
   - total brut de tous les paliers précédents = 2 000 pi³/min + 2 000 pi³/min = 4 000 pi³/min

3. Palier 3 = 2 x total brut = 2 x 4 000 pi³/min = 8 000 pi³/min :
   - total brut de tous les paliers précédents = 2 000 pi³/min + 2 000 pi³/min + 4 000 pi³/min = 8 000 pi³/min
4. Palier 4 = 2 x total brut = 2 x 8 000 pi³/min = 16 000 pi³/min :
   - total brut de tous les paliers précédents = 2 000 pi³/min + 2 000 pi³/min + 4 000 pi³/min + 8 000 pi³/min = 16 000 pi³/min
5. Palier 5 = 2 x total brut = 2 x 16 000 pi³/min = 32 000 pi³/min :
   - total brut de tous les paliers précédents = 2 000 pi³/min + 2 000 pi³/min + 4 000 pi³/min + 8 000 pi³/min + 16 000 pi³/min = 32 000 pi³/min
6. Total calculé pour le système de ventilation = 32 000 pi³/min sur 5 paliers

Le palier 1 correspond au palier de ventilation minimale. La plupart du temps, la ventilation de palier 1 est commandée de manière à fonctionner en continu. Pour les petits locaux, si les concepteurs sont incapables de trouver des ventilateurs suffisamment petits pour permettre un fonctionnement en continu, les ventilateurs fonctionnent selon des cycles marche-arrêt commandés par minuterie. Il faut réduire au minimum la durée des cycles d'arrêt (< 3 minutes) pour prévenir d'importantes hausses d'humidité et accumulations d'air vicié dans les locaux.

Au palier 2, on utilise d'ordinaire un ventilateur à vitesse variable. Les paliers de ventilation qui suivent le palier 2 font généralement appel à des ventilateurs à vitesse unique, bien que certains régulateurs permettent, si on le veut, de programmer de nombreux autres paliers de ventilation assurés par des ventilateurs à vitesse variable.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Certains fabricants allèguent que des ventilateurs d'extraction de 36 po (et plus) fonctionnent de manière satisfaisante à vitesse variable, mais l'expérience sur le terrain montre le contraire. Les ventilateurs d'extraction de forts diamètres sont difficiles à faire démarrer et sont instables sous l'effet du vent s'ils ne fonctionnent pas à plein régime. Les moteurs à vitesse variable ne sont donc pas recommandés pour les plus gros ventilateurs d'extraction.

4.4 Composants des ventilateurs

Un système de ventilation dont les composants sont de bonne qualité aura moins besoin d'entretien.

Un certain nombre de composants sont requis pour assurer un rendement optimal et une longue durée de vie utile, et réduire les besoins d'entretien des ventilateurs (figure 4.2).

Section transition. Permet à l'air d'entrer librement dans le ventilateur sans que le débit d'air ne soit gêné par des obstructions et des arêtes. L'ouverture de cette section est plus grande que le diamètre réel du ventilateur, ce qui réduit l'effet négatif des volets sur l'écoulement de l'air.

Protecteur et/ou volets. Permettent de s'assurer que les ventilateurs satisfont à toutes les exigences de sécurité. Des volets anti-retour sont requis pour tous les ventilateurs, car ils empêchent le refoulement de l'air dans le local lorsque le ventilateur ne fonctionne pas.

Boîtier du ventilateur. Doit être de forme tubulaire. Une forme parfaitement ronde et lisse assure une tolérance très serrée entre les pales du ventilateur et le tube.

Protecteur extérieur. Facultatif, à l'extérieur du boîtier.

Section évacuation; capot. Est requis pour les paliers 1 et 2 afin d'atténuer l'effet vent. Pour les paliers de ventilation supérieurs, le capot peut être remplacé par un cône.

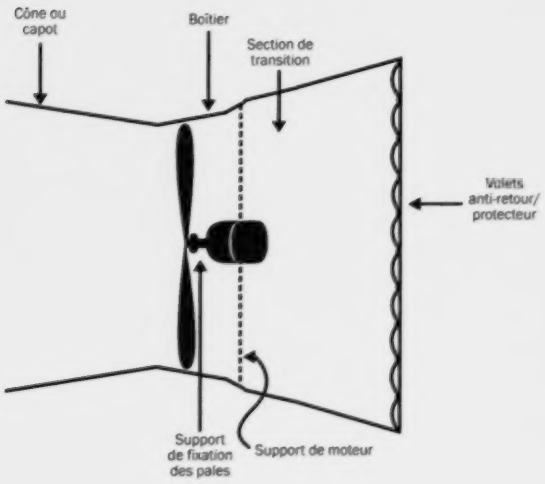


Figure 4.2 Composants d'un système de ventilation

Les fabricants améliorent la conception d'un ventilateur donné pour optimiser le rendement de ses composants. Cela leur permet d'obtenir, pour un ventilateur de diamètre donné, un plus grand volume d'air et une efficacité énergétique accrue. Le recours à des composants de qualité supérieure assure un rendement accru. Ces améliorations de la qualité peuvent inclure :

- boîtier fait de matériaux de qualité supérieure indéformables;
- moteur à rendement accru – le rendement des moteurs de rendement standard actuels est d'environ 75 %, tandis que celui des moteurs à haut rendement est de plus 80 % (le rendement du moteur reflète l'efficacité avec laquelle celui-ci convertit l'électricité en puissance rotative transmise à l'arbre pour actionner le ventilateur – la plupart des pertes sont sous la forme de chaleur);
- pales indéformables de conception optimisée pour assurer un meilleur débit d'air;
- conception des pales/du boîtier permettant une tolérance plus serrée entre les pales et le boîtier;
- transition en douceur entre l'entrée d'air et les pales, et mise en place d'un cône sur la section évacuation;
- volets surdimensionnés du côté admission pour réduire les pertes dues à la friction;
- volets qui se ferment hermétiquement lorsque le ventilateur s'arrête et qui s'ouvrent librement lorsque le ventilateur est en marche pour permettre l'entrée d'air – mise en place des volets sur le côté du ventilateur d'extraction donnant sur l'intérieur du local pour faciliter l'entretien;
- amélioration de la résistance à la corrosion de l'enceinte du ventilateur, y compris :
  - pose d'un revêtement céramique de qualité supérieure sur l'acier galvanisé,
  - recours à un plus grand nombre de composants en acier inoxydable,
  - enceintes faites entièrement de fibres de verre et/ou de plastiques/composés durables.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE: Un cône augmente le rendement maximal du ventilateur d'extraction dans une proportion pouvant aller jusqu'à 20 %. Vérifier les spécifications du fabricant lorsque cette option est disponible. L'achat de cônes peu coûteux peut réduire le nombre total de ventilateurs requis et réduire les besoins énergétiques.

4.5 Capacité de ventilation et pression statique

Le facteur le plus important dans le choix d'un ventilateur est la quantité d'air qu'un ventilateur peut effectivement déplacer. En Amérique du Nord, la capacité de ventilation s'exprime en pieds cubes d'air par minute (pi^3/min). Les valeurs nominales du système international (SI) s'expriment en litres par seconde (L/s) ou en mètres cubes par heure (m^3/h).

L'écoulement de l'air à une pression statique donnée est également un facteur critique dans la détermination de la capacité d'un ventilateur. Tous les ventilateurs d'extraction sont soumis d'une façon ou d'une autre à une pression statique, d'où l'importance de cette question pour l'analyse de la capacité de ventilation.

Une baisse de pression peut être attribuable à un certain nombre de raisons :

- Air entrant par une prise d'air donnant sur le vide sous-toit ou par une prise d'air murale protégée par un auvent. La baisse de pression survient lorsqu'une ouverture dans le soffite est trop petite (elle peut être obstruée par un panneau refermable, un grillage, de la saleté accumulée ou le givre).

- Air entrant dans le local par des entrées d'air volontairement laissées à un niveau de restriction de l'écoulement de l'air *(chapitre 3 – Entrées d'air)*.
- Effet vent parfois très important dans le cas d'un ventilateur non protégé faisant face à un champ. Le vent peut alors causer une inversion de l'écoulement de l'air.
- Volets anti-retour du côté admission du ventilateur. Garder les volets propres et mobiles. Des volets sales restreignent l'ouverture du ventilateur et se ferment sous leur propre poids.

La pression statique totale exercée sur un ventilateur correspond au résultat cumulatif des baisses de pression à chaque composant du système de ventilation (figure 4.3).

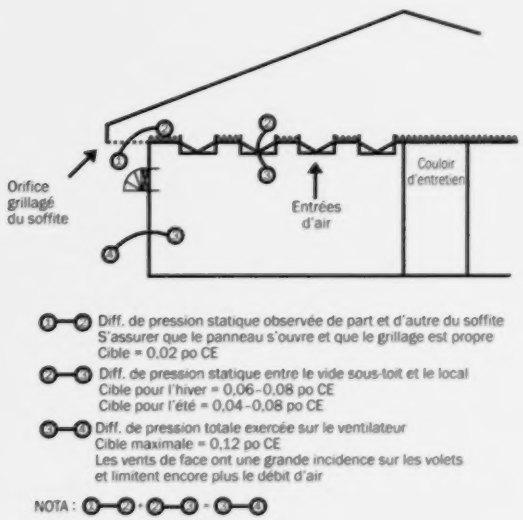


Figure 4.3 Représentation graphique des baisses de pression

Les ventilateurs fonctionnent dans diverses conditions. Leur capacité dépend notamment :

- de l'orientation du bâtiment et du ventilateur par rapport aux vents dominants;
- des brise-vent, comme des structures ou des arbres, en amont des ventilateurs.

Un ventilateur dont la courbe de ventilation est plate (p. ex. très stable sur une large fourchette de pressions statiques) n'est pas très éconergétique. Cependant, il faut mettre de côté l'efficacité énergétique en cas de pressions statiques élevées et/ou de vents forts, puisqu'un ventilateur éconergétique cesse de fonctionner dans de telles conditions. À la figure 4.4, on peut voir qu'un ventilateur dont la courbe de ventilation est plate convient pour une ventilation minimale, car les vents forts ou les entrées d'air mal adaptées l'affectent peu. Un ventilateur dont la courbe de ventilation est abrupte convient parfaitement pour le dernier palier de ventilation, surtout si l'effet vent n'est pas un facteur qui pourrait l'affecter.

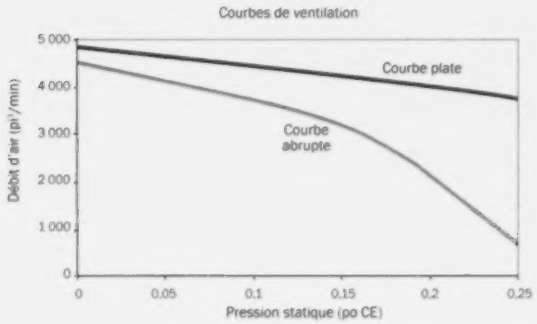


Figure 4.4 Courbe de ventilation et pression statique

4.5.1 Effet vent

L'effet vent sur les systèmes de ventilation peut être considérable. La pression du vent augmente proportionnellement à la vitesse du vent au carré – ainsi, si la vitesse du vent double, la pression quadruple (tableau 4.1). Le vent soufflant sur un ventilateur mural peut réduire ou stopper la ventilation. Les ventilateurs à vitesse variable sont particulièrement sensibles à l'effet vent; un fort vent contraire peut même souffler l'air à l'intérieur du bâtiment. Les ventilateurs peuvent être placés sur n'importe quel mur. Cela ne fait aucune différence – le côté sous le vent aujourd'hui sera le côté au vent demain.

Tableau 4.1 Exemple illustrant la baisse de pression en fonction de la vitesse du vent pour un ventilateur d'extraction mural non protégé

Vitesse du vent (km/h)	Baisse de pression (po CE)	Baisse de pression (Pa)
15	0,03	8
30	0,13	32
60	0,52	130

La figure 4.5a illustre les effets d'un vent modéré de 30 km/h soufflant sur le côté d'un bâtiment où se trouvent des ventilateurs d'extraction, en l'absence de toute protection des ventilateurs ou des entrées d'air contre l'effet vent.

- Du côté du mur au vent, un vent de 30 km/h se traduit par une pression statique de 0,13 po CE (32 Pa) (tableau 4.1).
- Du côté du mur sous le vent, là où se trouvent les entrées d'air, le même vent produit une succion de 0,09 po CE (22 Pa).
- La pression statique totale exercée sur le ventilateur est de 0,09 po CE (22 Pa) (mur sous le vent) + 0,06 po CE (15 Pa) (fentes de l'entrée d'air) + 0,13 po CE (32 Pa) (mur au vent) = 0,28 po CE (69 Pa).

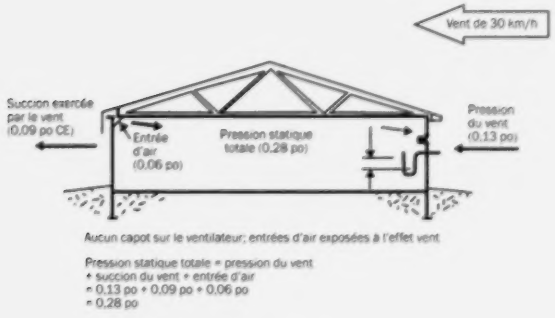


Figure 4.5a Ventilateur sans capot

La figure 4.5b montre le même bâtiment offrant aux ventilateurs et aux entrées d'air une protection contre les intempéries. L'entrée d'air est modifiée : l'air passe par le vide sous-toit et le ventilateur est protégé par un capot. Le vide sous-toit est ventilé au moyen d'une fente de largeur suffisante le long de chaque avant-toit. La pression statique de l'air entrant se rapproche de la pression atmosphérique moyenne, ce qui élimine presque complètement l'effet vent sur l'entrée d'air.

- Du côté du mur face au vent, le capot du ventilateur élimine la pression statique de la pression exercée par le vent. Le capot n'élimine pas l'effet vent à 100 %, mais on suppose que la pression peut être réduite à 0,04 po CE (10 Pa).
- Du côté sous le vent, là où se trouvent les entrées d'air, l'auvent recouvrant la prise d'air élimine la pression de succion. La pression statique exercée sur l'entrée d'air est de 0,06 po CE (15 Pa).
- La pression statique totale exercée sur le ventilateur n'est que de 0,04 po CE + 0,06 po CE = 0,10 po CE (25 Pa).

La combinaison de toutes ces modifications assure une réduction importante de la pression statique exercée sur le ventilateur – qui, dans l'exemple, passe de 0,28 po CE (69 Pa) à 0,1 po CE (25 Pa). Le taux de renouvellement d'air et l'environnement du bâtiment d'élevage sont ainsi moins affectés par l'effet vent.

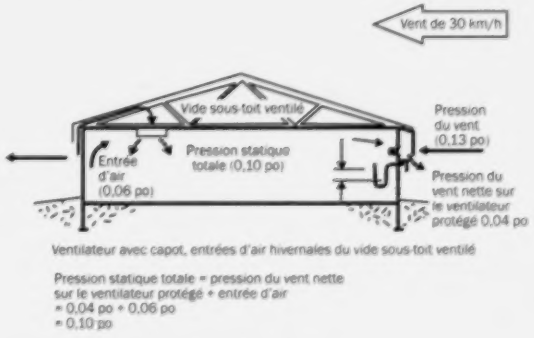


Figure 4.5b Ventilateur avec capot

Un système de ventilation protégé sur lequel est exercé une pression statique de 0,1 po CE plutôt que de 0,28 po CE évacue l'air plus efficacement. Par exemple, la capacité de ventilation d'un ventilateur de 24 po de diamètre choisi au hasard dans les rapports de laboratoire de BESS était de 5 630 pi^3/min pour une pression statique de 0,1 po CE, alors qu'elle n'était que de 2 780 pi^3/min pour une pression statique de 0,3 po CE (ce qui se rapproche beaucoup du 0,28 po CE de l'exemple ci-dessus) – une capacité réduite de moitié.

4.6 Bruit

Le niveau de bruit est aussi un facteur important. Le bruit représente de l'énergie perdue, et un ventilateur bruyant est moins efficace. On peut exiger les résultats des tests effectués par les fabricants si l'on veut connaître le niveau de bruit en décibels ou dB(A) à une distance standard de 5 pi (1,5 m) en aval du ventilateur. Bien que ce niveau sonore ne corresponde pas vraiment au bruit perçu en amont du ventilateur, il constitue un élément de comparaison entre différents ventilateurs. Si des personnes doivent être présentes pendant de longues périodes dans un local ou y converser de façon régulière, on doit opter pour les ventilateurs les moins bruyants parmi ceux qui sont offerts sur le marché. Il faut évaluer avec soin le niveau de bruit d'un système de ventilation si l'on craint que le voisinage se plaigne du bruit.

4.7 Moteurs

Les moteurs sont complètement couverts, ce qui les protège de la poussière et de l'humidité. Ils sont pourvus de roulements à billes étanches qui assurent un fonctionnement continu et durable. Une protection contre les surcharges thermiques intégrée est requis pour l'approbation du fonctionnement automatique par l'Association canadienne de normalisation (CSA). Cette protection permet à un moteur surchauffé de s'arrêter avant de brûler. Une surcharge thermique survient normalement pour les raisons suivantes : roulement grippé, pales givrées ou volets bloqués par le gel, moteurs à vitesse variable fonctionnant à trop basse vitesse.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE: Utiliser autant que possible des moteurs et des connexions de 240 volts (ou de 208 V si le service est disponible) pour réduire les pertes en ligne et équilibrer les charges électriques. Cela permet d'obtenir une meilleure qualité énergétique. Bien qu'un fil de calibre 14 réponde aux normes pour des circuits de 15 A, utiliser au moins un fil de calibre 12 pour réduire les pertes en ligne.

Les moteurs à haut rendement comportent notamment un plus grand nombre d'enroulements en cuivre et de meilleurs coussinets pour réduire la friction/résistance. Cela permet d'accroitre la capacité des moteurs à convertir l'énergie électrique en puissance rotative transmise à l'arbre. Des moteurs monophasés avec transmission à faible puissance ont une capacité de conversion de l'énergie électrique en puissance rotative de plus de 80 % comparativement à moins de 65 % pour les anciens moteurs moins efficaces. Les moteurs à haut rendement sont rentables du fait que les ventilateurs peuvent fonctionner des milliers d'heures par année. Le populaire moteur à condensateur auxiliaire permanent est éconergétique et a l'avantage de pouvoir être câblé pour une vitesse, deux vitesses, des vitesses multiples ou des vitesses variables. Les moteurs sont disponibles pour des tensions de 120, 208 ou 240 V.

4.8 Ventilateurs à une ou à deux vitesses

La plupart des ventilateurs actuellement sur le marché sont à vitesse unique ou à vitesse variable. Dans certaines circonstances, un concepteur de systèmes de ventilation peut opter pour un ventilateur à deux vitesses et passer une commande spéciale pour un ventilateur de ce type à la plupart des fournisseurs de ventilateurs.

4.9 Ventilateurs à vitesse variable

Les ventilateurs de paliers 1 et 2 – et parfois de paliers supérieurs – sont souvent à vitesse variable. Cela offre de nombreux avantages :

- Ce type de ventilateur permet d'augmenter la vitesse minimale du ou des ventilateurs de palier 1 dans les locaux où se pratique la conduite en bande.
- Le régulateur accroit automatiquement la vitesse du ventilateur lorsque la température ambiante augmente. Cela permet de prévenir d'importants déferlements d'air froid comme ceux qui peuvent survenir avec un ventilateur à vitesse unique.

Les ventilateurs à vitesse variable ont l'inconvénient suivant : la plupart des régulateurs font varier la vitesse de ces ventilateurs à l'aide d'un triac qui, par des mises hors tension et sous tension rapides selon

des cycles variables, produit un ralentissement ou une accélération du moteur. Les triacs sont très peu coûteux, mais ils peuvent rendre très instable un moteur à vitesse variable fonctionnant à une capacité inférieure à 75 %. Par exemple, un moteur de 230 V devient instable sous les différentes charges exercées par l'effet vent, etc. lorsqu'il fonctionne sous une tension inférieure à 172 V. En conséquence, en cas de pression statique élevée ou d'effet vent important, le ventilateur fonctionne à une vitesse très haute ou basse selon les fluctuations de pression.

Les mécanismes d'entraînement à fréquence variable sont une autre façon de modifier et de réguler la vitesse du moteur d'un ventilateur. Cela s'effectue en modifiant la fréquence de tension du moteur, de manière à rendre le système plus stable et plus éconergétique. Les mécanismes d'entraînement à fréquence variable coûtent de moins en moins cher, et ils sont donc de plus en plus utilisés pour réguler les ventilateurs à vitesse variable.

Certains systèmes de ventilation viennent avec un dispositif de mesure de débit d'air qui permet au régulateur de faire fonctionner les ventilateurs d'extraction selon le débit d'air souhaité, indépendamment de la vitesse et de l'orientation du vent. Ces dispositifs ajoutent une grande stabilité au débit d'air dans les ventilateurs d'extraction, surtout ceux qui sont à vitesse variable et qui sont régulés par des triacs, et ils sont entièrement calibrés en usine. Il faut s'assurer que les dispositifs sont calibrés une fois l'an par un représentant du fabricant ou une autre personne qualifiée.

De nombreux régulateurs fonctionnent selon une série de courbes correspondant à diverses stratégies tension/intensité. On peut ainsi s'assurer qu'un moteur à vitesse variable d'un certain modèle/marque s'accélère de manière raisonnablement linéaire sur sa largeur de bande lorsqu'il est branché à un régulateur donné. Les fabricants de régulateurs ajoutent d'ordinaire au guide de l'utilisateur un tableau des moteurs de ventilateur et des courbes de moteur recommandées.

4.10 Systèmes d'entraînement des ventilateurs

Les pales de ventilateur sont assemblées sur un moyeu. Dans le cas des ventilateurs à entraînement direct, le moyeu est claveté et monté directement sur l'arbre du moteur (figure 4.6). Dans le cas des ventilateurs à entraînement par courroie, le moyeu est claveté et monté sur un axe fixé au boîtier du ventilateur. Une poulie est fixée à l'arbre; une courroie reliant cette poulie au moteur du ventilateur sert à l'entraînement (figure 4.7).

Figure 4.6 Ventilateur de 36 po à entraînement direct

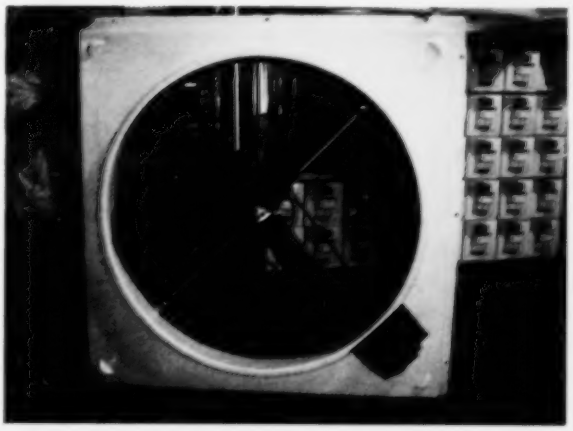


Figure 4.7 Ventilateur de 48 po à entraînement par courroie

Les ventilateurs à entraînement direct coûtent moins cher à fabriquer et sont plus faciles à entretenir. Tous les ventilateurs d'un diamètre inférieur à 36 po sont à entraînement direct. Cela permet de diminuer les coûts

et élimine la question de l'entretien de la courroie. Les fabricants n'utilisent que des moteurs à vitesse variable avec les ventilateurs à entraînement direct.

Un système d'entraînement par courroie augmente le rendement et abaisse le bruit grâce à des poulies. Un tel système est disponible pour les ventilateurs à vitesse unique et à deux vitesses.

Pour les ventilateurs d'un diamètre de 36 po ou plus, l'entraînement par courroie est une option fonctionnelle, à un coût légèrement plus élevé. Un système d'entraînement par courroie permet aux fabricants de réduire considérablement la vitesse d'un ventilateur, tandis que la forme des pales et le pas du ventilateur permettent d'optimiser la capacité de ventilation (pi^3/min).

Un ventilateur à entraînement par courroie est beaucoup plus silencieux qu'un ventilateur à entraînement direct. Si le bruit pose problème, surtout dans le cas d'un ventilateur situé près de zones fréquentées par des gens qui pourraient s'en plaindre, un système à entraînement direct n'est pas recommandé pour les ventilateurs de plus grandes dimensions.

Si on fait le choix d'un système à entraînement par courroie, on doit intégrer à sa conception deux parties principales pour réduire au minimum le glissement et l'entretien de la courroie – une courroie à maillons amovibles et un système automatique capable de maintenir la courroie à une tension appropriée pendant de longues périodes (figure 4.8).

Figure 4.8 Courroie articulée et tensionneur automatique

4.11 Pales des ventilateurs

Les ventilateurs comportent au moins trois pales incurvées qui sont assemblées sur un moyeu. Les pales sont rivetées au moyeu selon un angle qui détermine le pas du ventilateur. Le pas est la distance théorique parcourue par le jet d'air une fois que l'hélice a accompli un tour complet, à une pression statique de zéro. Le type de pale n'est pas un facteur, mais il faut que la capacité de ventilation (pi^3/min) et l'efficacité énergétique du ventilateur en tant que système soient acceptables.

Il existe de nombreux types de pales :

- les pales découpées dans des feuilles d'acier ou d'aluminium – peu coûteuses;
- les pales en plastique moulé – conviennent bien pour les ventilateurs de faibles diamètres; offrent un meilleur profil aérodynamique et une meilleure résistance à la corrosion; permettent un meilleur auto-nettoyage;
- les pales en aluminium coulé – offrent un meilleur profil aérodynamique, comme pour l'hélice d'un avion;
- les pales faites d'autres matériaux – sont fabriquées à partir d'une variété de matériaux, incluant les fibres de verre, les plastiques, les matériaux composites (mélange de fibres de verre, de plastiques et d'autres matériaux), l'acier inoxydable et l'acier galvanisé.

4.12 Couvercles des ventilateurs

Les ventilateurs muraux sont vulnérables à l'effet du vent soufflant autour d'un bâtiment. Quand un ventilateur non protégé projette de l'air directement face à un vent soufflant à 30 km/h, ses volets n'ouvrent pas avant que la poussée du ventilateur n'atteigne une pression de 0,13 po CE (32 Pa) ou plus, soit une pression qui commence à affecter la performance du ventilateur.

Un capot adéquatement conçu (figure 4.9) peut atténuer en général l'effet vent et assurer une protection contre la neige et la pluie glaciale. Des

capots en T sont également utilisés (figure 4.10); ils dirigent le jet d'air vers le haut ou vers le bas pour faciliter l'évacuation.

Au moment de choisir un système de ventilation avec capot, pour un meilleur écoulement de l'air, rechercher un capot en surplomb et en pente douce; ne pas en choisir un en forme de boîte.

Figure 4.9 Capot de bonne qualité

Figure 4.10 Capot dirigeant l'air vers le haut

Durant les mois d'hiver, doter tous les ventilateurs d'été de panneaux de revêtement isolés, installés à l'intérieur pour prévenir les pertes thermiques additionnelles et protéger l'appareil de ventilation contre la condensation et une détérioration ultérieure. Utiliser une boîte isolée amovible, un simple panneau plat isolé (figure 4.11) ou une porte à charnière si l'appareil surplombe le mur.

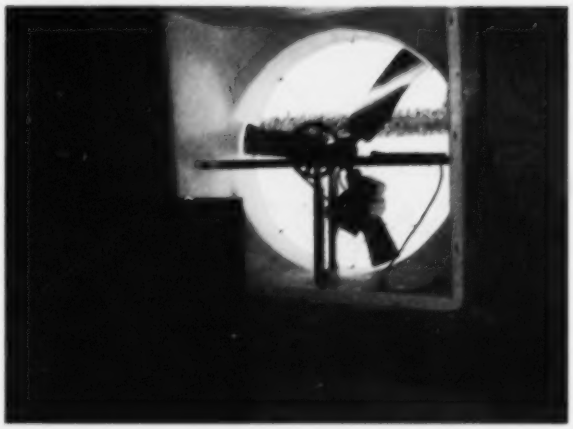


Figure 4.11 Couvercle de ventilateur isolé

4.13 Emplacement des ventilateurs

L'emplacement des ventilateurs n'est pas un facteur critique dans les petits locaux (< 2 000 pi²). Lorsque la dimension des bâtiments augmente, ce facteur devient plus important pour assurer une circulation d'air uniforme dans les installations. Dans les poulaillers, l'emplacement des ventilateurs est un facteur particulièrement important en raison de la forme longue et étroite des installations; il faut y installer les ventilateurs sur les murs latéraux et les y espacer raisonnablement. Dans tous les bâtiments, placer les ventilateurs de palier 1 au plus 75 pi (23 m) de toute entrée d'air.

Par exemple, un poulailler de 40 pi x 200 pi (12,3 m x 61,6 m) avec une ventilation transversale exige un certain nombre de ventilateurs de palier 1 (ventilation minimale). Si un ventilateur est installé environ tous les 75 pi (23 m) en commençant à 25 pi (7,7 m) des murs d'extrémité, trois ventilateurs de palier 1 seraient requis au total. Il faut souligner qu'aux bas taux de renouvellement d'air requis pour de jeunes oiseaux, la présence de zones d'air stagnant pourrait nécessiter l'utilisation de ventilateurs de circulation intérieure dans le bâtiment.

Lorsque des ventilateurs sont situés à proximité d'une entrée d'air, l'air provenant de celle-ci peut prendre des raccourcis et circuler directement vers le ventilateur d'extraction et sortir du bâtiment. Si des entrées d'air

sont placées sur un mur latéral et qu'en dessous de celles-ci se trouvent des ventilateurs d'extraction, une distance minimale de 5 pi (1,5 m) est recommandée entre le ventilateur et l'ouverture du panneau rabattable de l'entrée d'air. Lorsque cela n'est pas possible, il faut sceller l'entrée d'air sur une longueur correspondant au diamètre du ventilateur plus 5 pi (1,5 m) de chaque côté du ventilateur pour éliminer toute possibilité de raccourcis (figure 4.12).

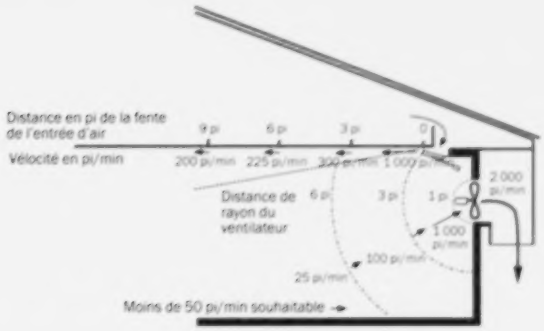


Figure 4.12 Zones d'influence relative d'un ventilateur d'extraction et d'une entrée d'air

4.14 Types de ventilateurs

Les deux types de ventilateurs les plus couramment utilisés en agriculture sont les ventilateurs centrifuges (cage d'écureuil) et hélicoïdaux (écoulement axial). Les ventilateurs centrifuges, moins bruyants et capables de combattre une pression statique élevée, sont davantage utilisés pour le séchage du grain et les systèmes de chauffage domestique à air chaud. Les ventilateurs hélicoïdaux s'adaptent bien aux pressions statiques présentes dans les bâtiments d'élevage et servent donc principalement à leur ventilation. Leur coût est moindre et ils évacuent plus efficacement l'air vicié que les ventilateurs centrifuges.

Choisir le style de ventilateur qui convient à l'application de façon à optimiser la durée de vie utile et la capacité mécanique du ventilateur.

Voici les quatre principaux styles de ventilateurs utilisés dans les bâtiments d'élevage :

- ventilateurs muraux;
- ventilateurs de cheminée;
- ventilateurs de fosse;
- ventilateurs de circulation intérieure.

4.14.1 Ventilateurs muraux

Les ventilateurs muraux sont placés à la verticale et insérés dans un mur (figure 4.13). Ne pas les installer autrement afin de n'affecter ni leur durée de vie utile ni leur performance.

Les ventilateurs muraux sont choisis pour un certain nombre de raisons, notamment :

- leur coût inférieur;
- un entretien facile;
- aucun effet venturi causé par de forts vents;
- la multitude d'endroits possibles où les installer.

Figure 4.13 Ventilateur mural dans un mur-sandwich d'un bâtiment d'élevage

4.14.2 Ventilateurs de cheminée

Les ventilateurs de cheminée sont placés au plafond et raccordés à des conduits qui traversent le toit. Les conduits additionnels à installer dans le vide sous-toit rendent plus coûteuse leur installation. Ces ventilateurs exigent également la découpe d'ouvertures dans le toit, ce qui peut occasionner des infiltrations d'eau. Par temps froid, la vapeur d'eau se condense sur les parois de la cheminée et de l'eau dégoutte dans le local. Certains fabricants fournissent un plateau d'égouttage facultatif qui permet de palier ce problème. Ces ventilateurs et moteurs déplacent l'air vers le haut et comportent souvent des joints de roulement et des supports spéciaux pour en assurer la durabilité.

Les ventilateurs de cheminée sont choisis pour un certain nombre de raisons :

- ils réduisent les odeurs autour de la ferme puisque l'air évacué est dispersé au-dessus de la ligne de toit et est dilué par le vent;
- le point d'évacuation du ventilateur est plus éloigné des entrées d'air pratiquées dans un mur latéral ou dans le soffite de l'avant-toit, ce qui réduit les risques de retour d'air vicié dans le bâtiment d'élevage;
- comme on peut placer les ventilateurs à beaucoup d'endroits dans le local comparativement aux entrées d'air, cela permet une circulation de l'air plus uniforme.

Un autre avantage d'un ventilateur de cheminée est qu'il n'est pas aussi affecté par l'accumulation de pression statique que l'est un ventilateur mural. Les ventilateurs de cheminée sont toutefois affectés par l'effet venturi qui provoque une pression négative à la sortie du ventilateur; l'air est aspiré hors de la cheminée et du local beaucoup plus rapidement que ce que l'on souhaite. Il y a deux solutions à ce problème :

- l'installation d'un registre qui se ferme quand la vitesse du ventilateur diminue par temps froid;
- l'installation d'un système de mesure évolué indiquant au moteur la rapidité avec laquelle il doit tourner (figure 4.14).

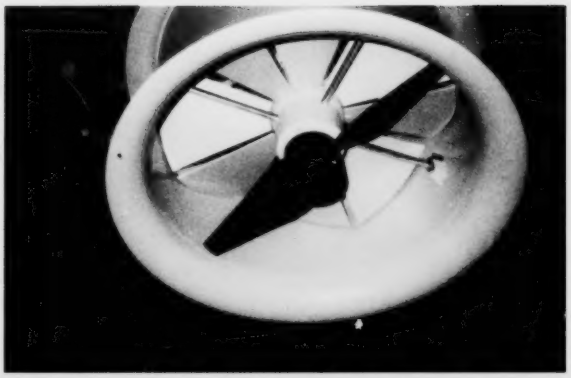


Figure 4.14 Ventilateur de cheminée avec dispositif de mesure de la vitesse de l'air

Remarque : Le dispositif de mesure est la lame noire. Les registres blancs s'ouvrent quand une plus grande quantité d'air est requise. Le moteur de ventilateur et l'assemblage des lames se trouvent au-dessus des registres.

4.14.3 Ventilateurs de fosse

Les ventilateurs de fosse sont utilisés pour évacuer l'air de zones situées sous le plancher des bâtiments d'élevage (p. ex. fosses à fumier). Les gaz que dégage le fumier stocké sont corrosifs, mais les ventilateurs de fosse sont conçus pour résister à la corrosion, puisque leurs composants sont faits d'acier inoxydable ou de plastique. Les ventilateurs de fosse, grâce à leur moteur étanche, ont une durée de vie utile raisonnable et un fonctionnement stable.

Les ventilateurs de fosse servent à évacuer l'air qui se trouve sous un plancher entièrement latté, comme dans les bâtiments abritant des vaches laitières ou des porcs de finition (figure 4.15).

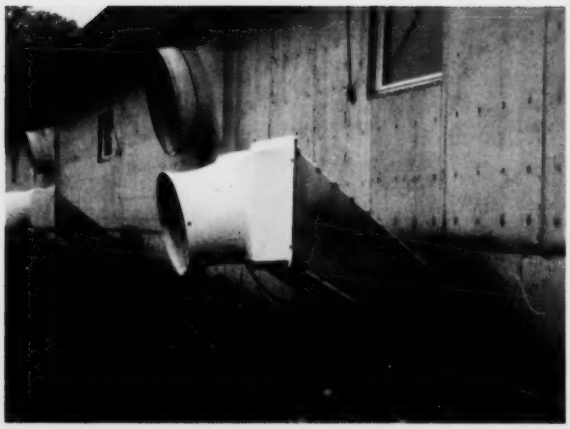


Figure 4.15 Ventilateur de fosse et conduits de transition menant sous le plancher latté

Dans certains bâtiments d'élevage, un conduit installé sous les lattes du plancher permet d'aspirer uniformément l'air sur la longueur de la fosse (figure 4.16).

Figure 4.16 Ventilateur de fosse et conduit menant sous le plancher

4.14.4 Ventilateurs de circulation intérieure

Les ventilateurs de circulation intérieure ne sont pas conçus de la même manière que les ventilateurs d'extraction. Comme ils ne doivent pas combattre la pression statique, même s'ils sont moins puissants, ils offrent une performance mécanique égale (pi^3/min) et une efficacité énergétique plus élevée (pi^3/min/W), ce qui n'est pas négligeable quand ces ventilateurs fonctionnent à pleine vitesse pour atténuer le stress causé par la chaleur estivale (p. ex. dans les étables laitières à stabulation libre).

La configuration d'un système de ventilation à circulation intérieure est un exercice minutieux. Les ventilateurs de circulation intérieure sont conçus pour fonctionner à basse vitesse de manière à ne pas compromettre la santé des jeunes animaux d'élevage sensibles et de manière à assurer une qualité d'air uniforme par temps froid. Ils sont aussi conçus pour fonctionner à vitesse élevée par temps chaud de manière à rafraîchir les animaux à maturité *(chapitre 7 – Systèmes de refroidissement)*.

4.14.5 Ventilateurs à circulation horizontale

Les ventilateurs à circulation horizontale déplacent l'air à l'horizontale dans un bâtiment. Par temps froid, ils sont utilisés pour contribuer au mélange d'air et au maintien d'une température uniforme. En été, le même ventilateur est utilisé pour rafraîchir le bétail et la volaille. Ces ventilateurs sont normalement suspendus au plafond et peuvent être facilement inclinés pour faire circuler l'air en direction des animaux (figure 4.17). Le concepteur doit connaître les types de schémas de circulation de l'air créés par les ventilateurs de circulation intérieure.

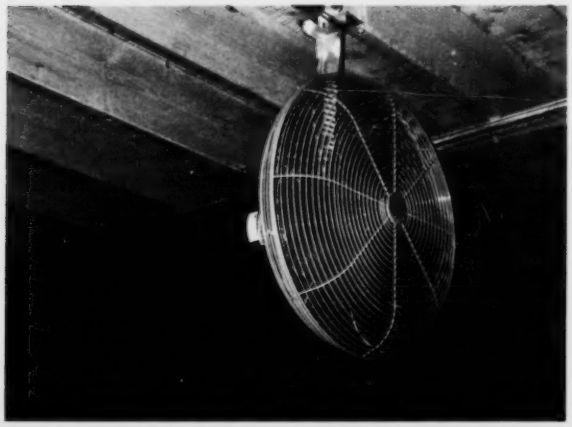


Figure 4.17 Ventilateur à circulation horizontale dans un poulailler de poulets à griller

4.14.6 Ventilateurs à circulation verticale

Les ventilateurs à circulation verticale sont souvent appelés ventilateurs de type Casablanca (figure 4.18). En général, leur diamètre peut aller jusqu'à 5 pi (1,5 m). Ils projettent l'air directement vers le bas. Par temps froid, ils permettent de réduire l'accumulation de chaleur (stratification) au plafond en déplaçant l'air chaud vers les aires occupées par les animaux. Par temps doux, ils permettent de rafraîchir le bétail et la volaille en projetant de l'air à haute vitesse sur eux. Ils sont utilisés avec succès dans les plus petits locaux à plafonds bas (p. ex. le local où sont entreposés les œufs dans un bâtiment abritant des pondeuses) pour mélanger l'air et prévenir la stratification.

Figure 4.18 Ventilateur soufflant vers le bas dans une étable laitière

Le ventilateur HVLS (*high volume low speed* : grand volume basse vitesse) illustré à la figure 4.19 est de conception novatrice. Ce type de ventilateur est très éconergétique et peut couvrir une très grande surface grâce à ses pales d'un diamètre pouvant aller jusqu'à 24 pi (7,3 m). Dans les grands locaux à plafond haut (p. ex. les étables laitières à stabulation libre), il est utilisé pour rafraîchir les animaux *(chapitre 7 – Systèmes de refroidissement).*

Figure 4.19 Ventilateur HVLS dans une étable laitière

4.15 Choix des ventilateurs

Voici les étapes à suivre pour faire le choix des ventilateurs :

1. Déterminer la capacité de ventilation requise.
2. Déterminer les types de ventilateurs requis (ventilateurs de fosse, muraux et/ou de cheminée).
3. Déterminer la capacité mécanique requise des ventilateurs (p. ex. choisir des ventilateurs de paliers 1 et 2 si un endroit est soumis à de forts vents de face pour obtenir une courbe de ventilation plate et stable).
4. Choisir une cible d'efficacité énergétique (p. ex. choisir des ventilateurs conçus pour assurer un débit d'air maximal durant les grandes chaleurs et la meilleure efficacité énergétique).
5. Évaluer la conception et la construction du ventilateur.

6. S'assurer que le fournisseur/fabricant a une réputation solide en matière de qualité et d'entretien.
7. Faire des recherches et comparer les prix.

4.15.1 Ventilation minimale ou visant à assurer une maîtrise de l'humidité (palier 1)

Comme les animaux produisent continuellement de l'humidité, il vaut mieux, pour garder le local confortable, le ventiler de manière continue plutôt que de manière intermittente. Il s'agit de maintenir un environnement stable et d'éviter de grandes fluctuations de température ou d'humidité. Le premier palier de ventilation assure la ventilation minimale. Si le ou les ventilateurs de palier 1 sont à vitesse variable, ils assurent une certaine maîtrise de la température selon la capacité qui est sollicitée pour maîtriser l'humidité. Le matériel de ventilation est d'ordinaire dimensionné pour un fonctionnement en continu, mais il y a certaines exceptions. Ainsi, de très petits locaux, un petit nombre d'animaux ou des animaux de très faibles gabarits (p. ex. poussins d'un jour) exigent un taux de renouvellement inférieur à celui qui est maintenu par des ventilateurs de capacité normale ou par des cheminées de dimensions disponibles dans le commerce. En pareils cas, on peut utiliser une minuterie pour autant que les cycles arrêt demeurent inférieurs à trois minutes de manière à prévenir d'importantes hausses d'humidité.

La ventilation minimale est d'ordinaire assurée par un ventilateur d'extraction à vitesse variable permettant de passer d'un palier de ventilation à un autre au fur et à mesure que les animaux grossissent et produisent plus de vapeur d'eau et de chaleur sensible. De nombreux régulateurs de systèmes de ventilation modifient le taux de renouvellement d'air grâce à un capteur d'humidité installé dans le local. Le capteur laisse la ventilation naturelle augmenter au prix d'un abaissement de la température ambiante, afin de prévenir l'apparition de conditions de forte humidité. Si cette stratégie entraîne une diminution suffisante de la température ambiante, le système de chauffage s'active pour prévenir un refroidissement.

La courbe de croissance est une autre fonction populaire de régulation de la ventilation qui assure le maintien d'une ventilation minimale appropriée dans un local d'élevage. Cette façon de procéder permet de programmer des valeurs prédéfinies pour divers jours de la période de croissance ou de séjour des animaux dans le local. Lorsque le bilan thermique est positif, la chaleur sensible produite par les animaux est supérieure à la chaleur qui est perdue par l'enveloppe du bâtiment et la ventilation minimale, ce qui entraîne une hausse de la température ambiante. D'ordinaire, les ventilateurs d'extraction assurant une ventilation minimale passent à pleine vitesse suivant une augmentation de 1-2 °C. Si la température ambiante continue d'augmenter, un autre palier de ventilation s'active pour limiter l'élévation de la température ambiante et maintenir celle-ci à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux.

Pour une bonne qualité d'air durant l'hiver, le taux de renouvellement d'air assurant la maîtrise de l'humidité n'est parfois pas suffisant. En présence de litière accumulée ou de fumier liquide stocké sous un plancher latté, l'ammoniac et les autres gaz qui se dégagent exigent au moins trois ou de préférence quatre renouvellements d'air par heure, si l'on veut maintenir une qualité d'air raisonnable pour les animaux et le personnel, et ce, même si le taux de renouvellement d'air nécessaire à la maîtrise de l'humidité peut être deux fois moins important. Pour les animaux d'élevage vulnérables aux maladies, comme les veaux et les porcelets en pouponnière, un taux de renouvellement d'air supérieur diminue les concentrations d'éventuels organismes pathogènes aéroportés.

Lorsque le bilan thermique est négatif, la température ambiante diminue. Le système de chauffage s'active à la température ambiante acceptable la plus basse afin que les animaux demeurent à l'intérieur de leur zone thermoneutre. Cependant, avec des animaux plus gros qui tolèrent mieux le froid, comme des vaches laitières ou des dindons ou moutons de reproduction, on peut laisser la température ambiante baisser d'une valeur raisonnable et éviter des coûts de chauffage supplémentaires. Cela fait augmenter la chaleur totale produite par les animaux, car ceux-ci consomment plus de nourriture pour s'adapter à un environnement

plus froid. Par exemple, diminuer la température d'un bâtiment d'élevage abritant des vaches laitières à environ 3 °C durant les journées les plus froides de l'hiver est beaucoup plus économique que d'augmenter l'apport de chaleur ou de laisser les ventilateurs s'arrêter. Les vaches consommeront davantage pour produire la chaleur supplémentaire, sans que leur production laitière ni leur santé n'en soient affectées pour la peine. Il n'est pas recommandé de régler la température de consigne du régulateur sous le point de congélation, à moins que les tuyaux d'eau et le système de manutention du fumier ne soient conçus pour supporter le gel.

4.15.2 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps doux (paliers intermédiaires)

Paliers intermédiaires (paliers 2 et suivants)
À mesure que la température extérieure augmente, la capacité de ventilation requise pour empêcher un réchauffement trop important d'un local doit également augmenter. Il faut alors recourir à des paliers de ventilation supplémentaires – le nombre de paliers nécessaire est calculé en fonction du nombre d'animaux présents dans le local ainsi que du type d'élevage et du poids des animaux ou des oiseaux (densité). Avec les températures d'été, il faut assurer au moins un renouvellement d'air complet par minute (p. ex. pondeuses en cages à plusieurs niveaux). Ce taux est de 10 à 20 fois plus important que le taux hivernal. Pour que la transition entre ces deux extrêmes se fasse sans causer de déplacements d'air ni de courants d'air excessifs, il faut un certain nombre de paliers de ventilation. Selon les dimensions du local, et la différence totale entre les taux estival et hivernal, quatre paliers ou plus peuvent être nécessaires pour compléter la transition. Un grand local peut même exiger 10 paliers ou plus. Comme règle pratique, il suffit de garder à l'esprit que le débit d'air pour chaque nouveau palier de ventilation ne doit jamais être supérieur au double du total des débits des paliers précédents.

4.15.3 Ventilation assurant une maîtrise de la température par temps très chaud (palier final)

Un temps très chaud exige la ventilation la plus importante, le débit d'air requis étant alors assuré par le fonctionnement de tous les ventilateurs dans le but d'empêcher que la température ambiante ne dépasse de plus de 1-2 °C la température extérieure. Si la température extérieure est trop élevée par rapport à la zone thermoneutre des animaux, l'idéal est de recourir à un système de refroidissement. Compte tenu de la grande quantité de chaleur et d'humidité dégagée par les animaux, on ne considère pas généralement la climatisation comme étant une solution pratique. Cependant, le recours à la ventilation longitudinale accroît la vitesse à laquelle l'air est projeté au-dessus des animaux. Divers systèmes de refroidissement par évaporation sont aussi utiles pour réduire le stress thermique des animaux *(chapitre 7 – Systèmes de refroidissement)*.

Utiliser la feuille de calcul suivante pour dimensionner les ventilateurs requis dans un bâtiment d'élevage

Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs

1.	Nombre d'animaux logés et poids minimal			Nombre d'animaux	Poids
2.	Nombre d'animaux logés et poids maximal			Nombre d'animaux	Poids
3a.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids minimal selon l'*annexe B*			pi³/min/animal	
3b.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids maximal selon l'*annexe B*			pi³/min/animal	
4.	Taux de renouvellement d'air requis par temps doux par animal de poids maximal selon l'*annexe B*			pi³/min/animal	
5a.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids minimal : _____ animaux x _____ pi³/min/animal			pi³/min	
5b.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids maximal : _____ animaux x _____ pi³/min/animal			pi³/min	

5c.	Débit minimal pour 4 renouvellements d'air/heure : _____ de longueur x _____ de largeur x _____ de hauteur x 4/60 (dimensions intérieures du bâtiment)			pi^3/min
5d.	Débit minimal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur : _____			pi^3/min
6a.	Débit maximal par temps doux pour le nombre d'animaux de poids maximal : _____ animaux x _____ pi^3/min/animal			pi^3/min
6b.	Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute _____ de longueur x _____ de largeur x _____ de hauteur			pi^3/min
6c.	Débit maximal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur			pi^3/min
	Choix des paliers de ventilation	**Capacité calculée**	**Capacité choisie**	
7a.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids minimal, de _____ pi^3/min (ligne 5a) x 3			pi^3/min
7b.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids maximal, de _____ pi^3/min (ligne 5b) x 2			pi^3/min
8a.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à basse vitesse calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou 7b)			pi^3/min
8b.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à haute vitesse calculée comme suit : capacité maximale du palier 1 x 2			pi^3/min
8c.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à une seule vitesse basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou 7b)			pi^3/min
9.	Sous-total des paliers 1 et 2 : (7a ou 7b) + (8b ou 8c)			pi^3/min
10.	Choix d'un ventilateur de palier 3 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 et 2 (ligne 9)			pi^3/min
11.	Sous-total des paliers 1, 2 et 3 : (9) + (10)			pi^3/min
12.	Choix d'un ventilateur de palier 4 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2 et 3 (ligne 11)			pi^3/min
13.	Sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 : (11) + (12)			pi^3/min
14.	Choix d'un ventilateur de palier 5 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 (ligne 13)			pi^3/min
15.	Sous-total des paliers 1, 2, 3, 4 et 5 : (13) + (14)			pi^3/min
16.	Choix d'un ventilateur de palier 6 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3, 4, 5 (ligne 15)			pi^3/min
17.	Sous-total des paliers 1 à 6 : (15) + (16)			pi^3/min
18.	Choix d'un ventilateur de palier 7 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 à 6 (ligne 17)			pi^3/min
19.	Sous-total des paliers 1 à 7 : (17) + (18)			pi^3/min
20.	Choix d'un ventilateur de palier 8 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 à 7 (ligne 19)			pi^3/min
21.	Sous-total des paliers 1 à 8 : (19) + (20)			pi^3/min

Remarque : Le palier final est atteint lorsque le débit total est égal ou supérieur à 6a, 6b ou 6c, selon ce que le concepteur a choisi.

4.16 Taux de renouvellement d'air dans un grand local d'engraissement-finition abritant 200 porcs

Concevoir un système de ventilation mécanique à pression négative pour un local d'engraissement-finition conçu pour abriter 200 porcs, local où se pratique la conduite en bande (c.-à-d. les porcs pèsent chacun 25 kg à leur arrivée et sont expédiés au poids de marché de 110 kg). Les dimensions du local sont les suivantes : 35 pi de largeur x 60 pi de longueur x 8,5 pi de hauteur (10,6 m x 18,2 m x 2,6 m). Le volume d'air total y est de 17 850 pi^3. Le plancher du local est entièrement latté. Sous le plancher se trouve une fosse profonde permettant de stocker jusqu'à un an de fumier.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs – Local d'engraissement-finition abritant 200 porcs

1.	Nombre d'animaux logés et poids minimal	200	25 kg	Nombre d'animaux	Poids
2.	Nombre d'animaux logés et poids maximal	200	110 kg	Nombre d'animaux	Poids
3a.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids minimal selon l'*annexe B*	4		pi^3/min/animal	
3b.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	8		pi^3/min/animal	
4.	Taux de renouvellement d'air requis par temps doux par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	90		pi^3/min/animal	
5a.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids minimal : **200** animaux x **4** pi^3/min/animal	800		pi^3/min	
5b.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids maximal : **200** animaux x **8** pi^3/min/animal	1 600		pi^3/min	
5c.	Débit minimal pour 4 renouvellements d'air/heure : **60** pi de longueur x **35** pi de largeur x **8,5** pi de hauteur x **4/60** (dimensions intérieures du bâtiment)	1 190		pi^3/min	
5d.	Débit minimal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.		pi^3/min	
6a.	Débit maximal par temps doux pour le nombre d'animaux de poids maximal : **200** animaux x **90** pi^3/min/animal	18 000		pi^3/min	
6b.	Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute : **60** pi de longueur x **35** pi de largeur x **8,5** pi de hauteur	17 850		pi^3/min	
6c.	Débit maximal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.		pi^3/min	
	Choix des paliers de ventilation	**Capacité calculée**	**Capacité choisie**		
7a.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids minimal, de **800** pi^3/min (ligne 5a) x 3	2 400	2 500	pi^3/min	
7b.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids maximal, de **1 600** pi^3/min (ligne 5b) x 2	3 200	2 500	pi^3/min	
8a.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à basse vitesse calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (**7a** ou 7b)	2 400	1 500	pi^3/min	
8b.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à haute vitesse calculée comme suit : capacité maximale du palier 1 x 2	4 800	5 000	pi^3/min	
8c.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à une seule vitesse basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (**7a** ou 7b)	2 400	s.o.	pi^3/min	

9.	Sous-total des paliers 1 et 2 : (**7a** ou 7b) + (**8b** ou 8c)	7 200	7 500	pi³/min
10.	Choix d'un ventilateur de palier 3 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 et 2 (ligne 9)	7 200	5 000	pi³/min
11.	Sous-total des paliers 1, 2 et 3 : (9) + (10)	14 400	12 500	pi³/min
12.	Choix d'un ventilateur de palier 4 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2 et 3 (selon11)	14 400	5 000	pi³/min
13.	Sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 : (11) + (12)	Trop grande	17 500	pi³/min
14.	Choix d'un ventilateur de palier 5 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 (ligne 13)	-	-	pi³/min
15.	Sous-total des paliers 1, 2, 3, 4 et 5 : (13) + (14)	-	-	pi³/min
16.	Choix d'un ventilateur de palier 6 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3, 4, 5 (ligne 15)	-	-	pi³/min
17.	Sous-total des paliers 1 à 6 : (15) + (16)	-	-	pi³/min
18.	Choix d'un ventilateur de palier 7 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 à 6 (ligne 17)	-	-	pi³/min
19.	Sous-total des paliers 1 à 7 : (17 + 18)	-	-	pi³/min
20.	Choix d'un ventilateur de palier 8 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 à 7 (ligne 19)	-	-	pi³/min
21.	Sous-total des paliers 1 à 8 : (19) + (20)	-	-	pi³/min

Remarque : Le palier final est atteint lorsque le débit total est égal ou supérieur à 6a, 6b ou 6c, selon ce que le concepteur a choisi.

Notes explicatives de l'exemple relatif à un local abritant 200 porcs à l'engrais

1. Les 200 porcs d'engraissement-finition logés dans ce local où se pratique la conduite en bande pèsent chacun en moyenne 25 kg à leur arrivée.
2. Les 200 mêmes porcs pèsent chacun en moyenne 110 kg (poids vif) au moment d'être expédiés à leur poids de marché.
3. Le taux de renouvellement d'air requis par temps froid varie entre 4 et 8 pi³/min/porc selon le poids des porcs (voir le tableau *Taux de renouvellement d'air* à l'*annexe B*).
4. Le taux de renouvellement d'air requis par temps doux recommandé par porc de poids maximal = 90 pi³/min/porc (voir le tableau *Taux de renouvellement d'air* à l'*annexe B*).
5. Le taux de renouvellement d'air minimal pour un local de cette dimension est calculé selon plusieurs critères :
   a. Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour des porcs de poids minimal : 200 porcs x 4 pi³/min/porc = 800 pi³/min.
   b. Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour des porcs de poids maximal : 200 porcs x 8 pi³/min/porc = 1 600 pi³/min.
   c. Débit minimal par temps froid basé sur 4 renouvellements d'air/heure visant à assurer pour une meilleure qualité de l'air : 60 pi x 35 pi x 8,5 pi x 4/60 = 1 190 pi³/min.
   d. Débit minimal par temps froid basé sur les critères de conception d'un consultant (p. ex. un certain niveau de qualité de l'air si on le souhaite).

6. Le débit maximal par temps doux pour un local de cette dimension est calculé selon plusieurs critères :

   a. Débit maximal par temps doux pour des porcs de poids maximal : 200 porcs x 90 pi^3/min/porc= 18 000 pi^3/min.
   b. Débit maximal par temps doux basé un 1 renouvellement d'air par minute. Avec ce débit, on peut normalement évacuer la chaleur animale assez rapidement pour limiter l'augmentation de la température ambiante à 2 °C tout au plus au-dessus des températures extérieures = 60 pi x 35 pi x 8,5 pi = 17 850 pi^3/min.
   c. Débit maximal par temps doux basé sur les critères de conception d'un consultant (p. ex. un certain niveau de qualité de l'air si on le souhaite).

7. Si le ventilateur de palier 1 est à vitesse variable, sa capacité maximale est choisie selon un débit de 2 à 3 fois supérieur au débit d'air minimal requis :

   a. Capacité maximale du ventilateur de palier 1 calculée en fonction du taux de renouvellement d'air minimal pour des porcs de poids minimal : 800 pi^3/min x 3 = 2 400 pi^3/min.
   b. Capacité maximale du ventilateur de palier 1 calculée en fonction du taux de renouvellement d'air minimal pour des porcs de poids maximal : 1 600 pi^3/min x 2 = 3 200 pi^3/min.

   Commentaire : Selon les critères de sélection 5 et 7, un ventilateur à vitesse variable allant d'une capacité minimale de 800 pi^3/min à une capacité maximale de 2 400 pi^3/min est un bon choix pour la ventilation minimale de palier 1. Plusieurs fabricants offrent un ventilateur à vitesse variable de 16 po de diamètre et d'une capacité d'environ 600-2 500 pi^3/min. Un choix tout aussi acceptable serait un appareil à vitesse variable de 18 po de diamètre et d'une capacité de 800-3,000 pi^3/min. Comme il y a une fosse à purin profonde sous les lattes, ce ventilateur d'extraction pourrait être un ventilateur de fosse.

8. Lorsqu'un ventilateur de palier 1 fonctionne à pleine vitesse parce que les porcs ont grossi et que la température ambiante est plus chaude, toute autre augmentation de température exige un ventilateur de palier 2 pour limiter l'élévation de la température ambiante.

   Si le ventilateur de palier 2 est à vitesse variable, sa capacité est calculée comme suit :
   a. Sa capacité maximale à basse vitesse ne doit pas dépasser la capacité maximale du palier 1 = 2 400 pi^3/min.
   b. Sa capacité maximale à haute vitesse ne doit pas dépasser la capacité maximale du palier 1 multipliée par 2 environ = 2 400 x 2 = 4 800 pi^3/min.

   Un bon choix de ventilateur à vitesse variable de palier 2 serait un ventilateur d'une capacité se situant entre 2 400 et 4 800 pi^3/min. La plupart des ventilateurs à vitesse variable ont une fourchette de capacités plus étendue que cela; un ventilateur dont la vitesse peut être abaissée à un bas niveau est préférable car il permet une transition moins abrupte à la mise en marche du ventilateur de palier 2. Un choix raisonnable est un ventilateur de 24 po de diamètre et d'une capacité se situant entre 1 500 et 5 000 pi^3/min.

   c. Si un ventilateur à vitesse unique est requis pour la ventilation de palier 2, sa capacité maximale ne devrait pas dépasser la pleine capacité de ventilation du palier 1 pour suivre la règle du double et prévenir une transition trop abrupte = 2 400 pi^3/min. Il est à noter qu'un ventilateur à vitesse unique limite la capacité totale de ventilation du palier 2 et exige le démarrage d'un ventilateur de palier 3 plus rapidement lorsque le temps se réchauffe. Dans cet exemple, on a opté pour un ventilateur à vitesse variable.

9. Quand la température ambiante augmente de quelques degrés supplémentaires, le ventilateur de palier 2 fonctionne également à pleine vitesse et la capacité de ventilation combinée (palier 1 + palier 2) = 7 200 pi^3/min (capacité calculée) et 7 500 pi^3/min (capacité choisie).

10. Si la température ambiante continue à augmenter, la ventilation du palier 3 est activée pour réduire le rythme d'augmentation de la température dans le local. Limiter la capacité maximale du palier 3 au total cumulatif des paliers 1 et 2 pour suivre la règle du double. Il est acceptable de sélectionner un ventilateur d'une capacité inférieure (mais non supérieure) à cette valeur cumulative. Même si une capacité maximale de 7 200 pi³/min est calculée (ou si la capacité choisie est de 7 500 pi³/min), un autre ventilateur à vitesse unique de 24 po de diamètre et d'une capacité de 5 000 pi³/min est un bon choix pour la ventilation de palier 3.

11. La capacité de ventilation totale dans ce local correspond maintenant au total cumulatif des paliers 1, 2 et 3. Cela totalise 2 500 pi³/min + 5 000 pi³/min + 5 000 pi³/min = 12 500 pi³/min.

12. Une autre augmentation de température dans le local entraîne l'activation d'un ventilateur de palier 4. La capacité de ce ventilateur peut varier mais ne doit pas dépasser 12 500 pi³/min. Pour une plus grande constance, un autre ventilateur à vitesse unique de 24 po de diamètre et d'une capacité de 5 000 pi³/min peut être choisi.

13. La capacité de ventilation totale du local totalise maintenant 12 500 pi³/min + 5 000 pi³/min = 17 500 pi³/min. (palier 1 + palier 2 + palier 3 + palier 4). Comparer cette capacité au débit maximal requis par temps doux de 18 000 pi³/min (ligne 6). Si les deux valeurs sont suffisamment proches l'une de l'autre, aucun autre palier de ventilation n'est requis. La capacité choisie correspond à 87,5 pi³/min/porc.

Commentaire : Le local de cet exemple devrait être doté de quatre ventilateurs d'extraction (deux ventilateurs à vitesse variable et deux ventilateurs à vitesse unique) pour couvrir la fourchette de débits (800-17 500 pi³/min) requise. Pour un local mesurant 35 pi x 60 pi x 8,5 pi, on obtient un volume d'air de 17 850 pi³. La capacité de 17 500 pi³/min susmentionnée assure tout au plus l'unique renouvellement d'air par minute suggéré. La figure 4.20 illustre graphiquement cette stratégie de conception de ventilation.

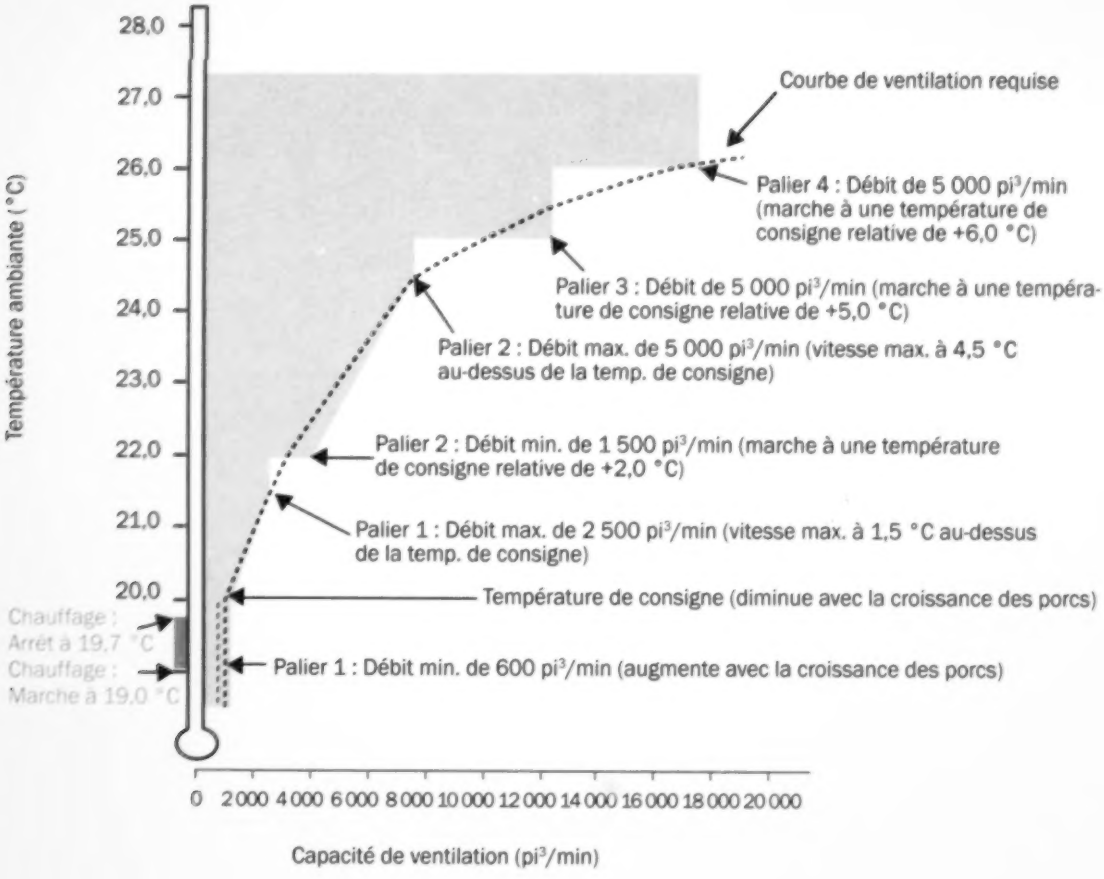


Figure 4.20 Paliers de ventilation dans un local abritant des porcs d'engraissement-finition

Exemple de dimensionnement des ventilateurs dans un petit local abritant 15 veaux

Concevoir un système de ventilation mécanique pour un local qui reçoit constamment des veaux et qui abrite 15 veaux de race laitière pesant en moyenne environ 57 kg (125 lb) chacun à leur arrivée et 114 kg (250 lb) lorsqu'ils sont transférés dans le local abritant les génisses. Les dimensions du local sont les suivantes : 12 pi de largeur x 50 pi de longueur x 8 pi de hauteur (3,6 m x 15,2 m x 2,4 m). Le volume d'air total est de 4 800 pi³. Les enclos sont tapissés de paille et les nettoyages sont espacés de quelques jours.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des ventilateurs – Local abritant 15 veaux

1.	Nombre d'animaux logés et poids minimal	15	125	Nombre d'animaux	Poids
2.	Nombre d'animaux logés et poids maximal	15	250	Nombre d'animaux	Poids
3a.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids minimal selon l'*annexe B*	10		pi³/min/animal	
3b.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	12		pi³/min/animal	
4.	Taux de renouvellement d'air requis par temps doux par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	120		pi³/min/animal	
5a.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids minimal : **15** animaux x **10** pi³/min/animal	150		pi³/min	
5b.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids maximal : **15** animaux x **12** pi³/min/animal	180		pi³/min	
5c.	Débit minimal basé sur 4 renouvellements d'air/heure : **50** pi de longueur x **12** pi de largeur x **8** pi de hauteur x 4/60 (dimensions intérieures du bâtiment)	320		pi³/min	
5d.	Débit minimal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.		pi³/min	
6a.	Débit maximal par temps doux pour les animaux de poids maximal : **15** animaux x **120** pi³/min/animal	1 800		pi³/min	
6b.	Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute : **50** pi de longueur x **12** pi de largeur x **8** pi de hauteur	4 800		pi³/min	
6c.	Débit maximal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur : **200 pi³/min par veau**	3 000		pi³/min	
	Choix des paliers de ventilation	**Capacité calculée**	**Capacité choisie**		
7a.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids minimal, de **150** pi³/min (ligne 5a) x 3	450	1 200	pi³/min	
7b.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids maximal, de **180** (ligne 5b) x 2	360	1 200	pi³/min	
8a.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à basse vitesse calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (**7a** ou 7b)	450	1 200	pi³/min	
8b.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à haute vitesse calculée comme suit : capacité maximale du palier 1 x 2	2 400	2 400	pi³/min	
8c.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse unique basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou 7b)	s.o.	s.o.	pi³/min	
9.	Sous-total des paliers 1 et 2 : (7a ou 7b) + (8b ou 8c)	3 600	3 600	pi³/min	
10.	Choix d'un ventilateur de palier 3 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 et 2 (ligne 9)	-	-	pi³/min	
11.	Sous-total des paliers 1, 2 et 3 : (9) + (10)	-	-	pi³/min	
12.	Choix d'un ventilateur de palier 4 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2 et 3 (ligne 11)	-	-	pi³/min	
13.	Sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 : (11) + (12)	-	-	pi³/min	
14.	Choix d'un ventilateur de palier 5 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 (ligne 13)	-	-	pi³/min	

15.	Sous-total des paliers 1, 2, 3, 4 et 5 : (13) + (14)	-	-	pi³/min
16.	Choix d'un ventilateur de palier 6 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1, 2, 3, 4, 5 (ligne 15)	-	-	pi³/min
17.	Sous-total des paliers 1 à 6 : *(15 + 16)*	-	-	pi³/min
18.	Choix d'un ventilateur de palier 7 basé sur une capacité de ventilation maximale calculée comme suit : ≤ sous-total des paliers 1 à 6 (ligne 17)	-	-	pi³/min

Remarque : Le palier final est atteint lorsque le débit d'air total est égal ou supérieur à 6a, 6b ou 6c, selon ce que le concepteur a choisi.

Notes explicatives de l'exemple relatif à un local abritant 15 veaux

1. Les 15 veaux logés dans ce local recevant constamment des veaux pèsent en moyenne 57 kg (125 lb) chacun à leur arrivée.
2. Les 15 veaux restent dans ce local pendant au plus trois mois et pèsent environ 114 kg (250 lb) avant leur transfert dans un autre local.
3. Le taux de renouvellement d'air requis par temps froid varie entre 10 et 12 pi³/min/veau selon le poids des veaux (voir le tableau *Taux de renouvellement d'air* à l'*annexe B*).
4. Le taux de renouvellement d'air maximal recommandé est de 120 pi³/min/veau (voir le tableau *Taux de renouvellement d'air* à l'*annexe B*).
5. Le taux de renouvellement d'air minimal pour un local de cette dimension est calculé selon plusieurs critères :
   a. Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour des veaux de petite taille : 15 veaux x 10 pi³/min/veau = 150 pi³/min.
   b. Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour des veaux de grande taille : 15 veaux x 12 pi³/min/veau = 180 pi³/min.
   c. Débit minimal par temps froid basé sur 4 renouvellements d'air/heure et visant à assurer une meilleure qualité de l'air : 50 pi x 12 pi x 8,0 pi x 4/60 = 320 pi³/min (débit généralement requis pour des veaux de race laitière en raison du fumier accumulé dans chaque enclos).
   d. Débit minimal par temps froid basé sur les critères de conception d'un consultant (p. ex. un certain niveau de qualité de l'air si on le souhaite).
6. Le débit maximal par temps doux pour un local de cette dimension est calculé selon plusieurs critères :
   a. Débit maximal par temps doux pour des veaux de grande taille : 15 veaux x 120 pi³/min/veau = 1 800 pi³/min.
   b. Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute. Avec ce débit, on peut normalement évacuer la chaleur animale assez rapidement pour limiter l'augmentation de la température ambiante à 2 °C tout au plus au-dessus des températures extérieures. En général, ce débit est considéré comme étant excessif pour des locaux à faible densité : 50 pi x 12 pi x 8,0 pi = 4 800 pi³/min.
   c. Débit maximal par temps doux basé sur les critères de conception d'un consultant. Dans le cas de veaux de race laitière, on recommande un renouvellement d'air toutes les 2 minutes ou un débit maximal de 200 pi³/min par veau, comme dans le présent exemple : 15 veaux x 200 pi³/min/veau = 3 000 pi³/min.

7. Si le ventilateur de palier 1 est à vitesse variable, sa capacité maximale est choisie selon un débit de 2 à 3 fois supérieur au débit minimal requis.

   a. Capacité maximale du ventilateur de palier 1 calculée en fonction du taux de renouvellement d'air minimal pour des veaux de petite taille : 150 pi^3/min x 3 = 450 pi^3/min.
   b. Capacité maximale du ventilateur de palier 1 calculée en fonction du taux de renouvellement d'air minimal pour des veaux de grande taille : 180 pi^3/min x 2 = 360 pi^3/min.

   Commentaire : Selon les critères de sélection 5 et 7, un ventilateur à vitesse variable et d'une capacité minimale de 320-450 pi^3/min est un bon choix pour la ventilation minimale de palier 1. Si un ventilateur d'une capacité suffisamment basse n'est pas disponible, une minuterie est utilisée pour atteindre une capacité effective inférieure.

   Plusieurs fabricants offrent un ventilateur de 12 po de diamètre et d'une capacité se situant entre 300 et 1 200 pi^3/min environ. Cela assure une ventilation minimale et offre une capacité additionnelle qui prévient l'activation trop rapide de la ventilation de palier 2.

8. Lorsque le ventilateur de palier 1 fonctionne à pleine vitesse parce que la température ambiante est plus élevée, toute autre augmentation de température exige un ventilateur de palier 2 pour limiter l'élévation de la température ambiante.

   Si le ventilateur de palier 2 est à vitesse variable, sa capacité est calculée comme suit :
   a. Sa capacité maximale à basse vitesse ne doit pas dépasser la capacité maximale du palier 1 = 1 200 pi^3/min;
   b. Sa capacité maximale à haute vitesse ne doit pas dépasser la capacité maximale du palier 1 multipliée par 2 environ = 1 200 pi^3/min x 2 = 2 400 pi^3/min.

   Commentaire : Un bon choix de ventilateur à vitesse variable de palier 2 serait un ventilateur d'une capacité se situant entre 1 200 et 2 400 pi^3/min. La plupart des ventilateurs à vitesse variable ont une fourchette de capacités plus étendue que cela; un ventilateur dont la vitesse peut être abaissée à un bas niveau est préférable car il permet une transition moins brusque à la mise en marche du ventilateur de palier 2. Un autre choix raisonnable serait un ventilateur de 16 po de diamètre et d'une capacité se situant entre 700 et 2 400 pi^3/min.

   c. Si un ventilateur à vitesse unique est requis pour la ventilation de palier 2, sa capacité maximale ne devrait pas dépasser la pleine capacité de ventilation du palier 1 pour suivre la règle du double et prévenir une transition trop abrupte = 1 200 pi^3/min. Il est à noter qu'un ventilateur à vitesse unique limite la capacité totale de ventilation du palier 2, comparativement un ventilateur à vitesse variable de grand diamètre dont la capacité évolue lentement vers une capacité totale plus importante.

   Dans cet exemple, on a opté pour un ventilateur à vitesse variable.

9. Quand la température ambiante augmente de quelques degrés selon le régulateur du ventilateur, le ventilateur de palier 2 passe à pleine vitesse et la capacité de ventilation combinée (palier 1 + palier 2) = 3 600 pi^3/min (capacité choisie). Comparativement au débit estival maximal de 4 800 pi^3/min requis (ligne 6), ce débit se situe à l'intérieur d'une fourchette appropriée. Or, comme cela se rapproche des critères additionnels spécifiés par le concepteur, aucun autre palier de ventilation n'est requis. Le taux de renouvellement d'air effectif est de 240 pi^3/min/veau. Ce taux est supérieur au taux de renouvellement d'air de 120 pi^3/min/veau figurant au tableau de l'*annexe B*. Cela est acceptable lorsque le local est grand et que le nombre de renouvellements d'air minimal par heure dicte une capacité supérieure (pi^3/min). Si la capacité de ventilation était insuffisante, les veaux pourraient suffoquer par temps doux.

Commentaire : En bref, le local de cet exemple est doté de deux ventilateurs d'extraction couvrant la fourchette de capacités requise (300-3 600 pi³/min). Le différentiel de températures de chacun de ces ventilateurs est suffisamment étendu pour que le ventilateur à vitesse variable de 12 po de diamètre assure toute la ventilation à partir de la fin de l'automne, durant l'hiver et jusqu'au début du printemps. Le ventilateur de 16 po de diamètre est activé pour accroître la ventilation à partir de la fin du printemps, durant l'été et jusqu'au début de l'automne. La figure 4.21 illustre graphiquement cette stratégie de conception de ventilation.

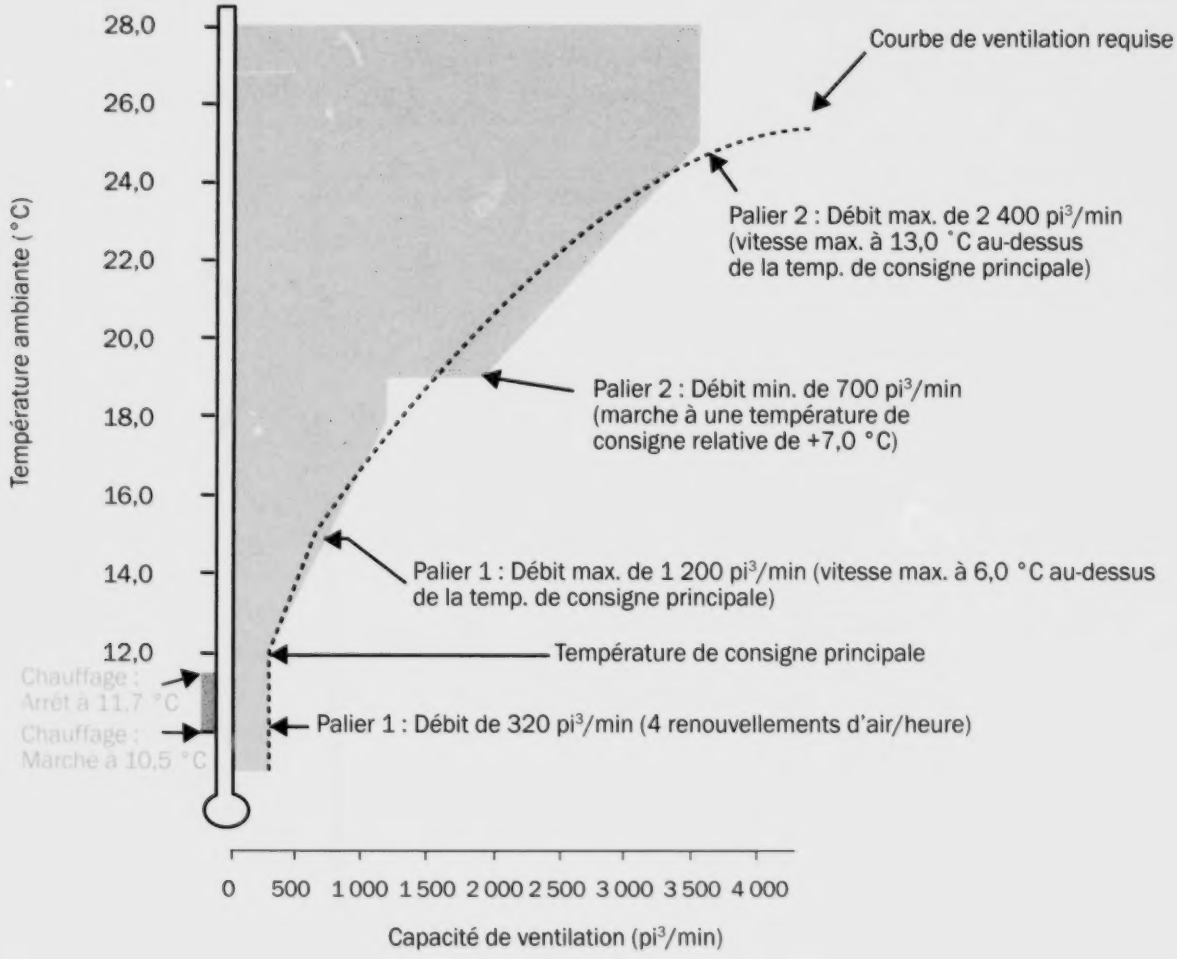


Figure 4.21 Paliers de ventilation pour un local abritant 15 veaux

Table des matières

5. Régulation des installations de ventilation 99

5.1 Introduction 99
5.2 Terminologie 100
5.3 Principes de fonctionnement 102
5.3.1 Appareils de contrôle proportionnel et de type PID 102
5.3.2 Mesure de la température 103
5.3.3 Fonctions de la régulation de la température 105
5.3.4 Autres fonctions de la régulation de la température 108
5.3.5 Options de régulation de l'humidité 110
5.3.6 Options de réglage de l'ouverture des entrées d'air 111
5.3.7 Options de commande des ventilateurs de recirculation et de refroidissement 114
5.3.8 Commandes d'appareils de refroidissement et de captage des poussières à l'eau 115
5.3.9 Autres fonctions du régulateur de ventilation 116
5.3.10 Fonctions d'un régulateur de ventilation naturelle 117
5.3.11 Déplacements à durée déterminée des rideaux en fonction de la température 117
5.3.12 Déplacements des rideaux en fonction de la température, selon un différentiel préétabli 118
5.3.13 Option de chauffage d'appoint 118
5.3.14 Réglages du régulateur de ventilation naturelle 119
5.4 Alimentation électrique de secours 119
5.5 Système d'alarme indépendant 119

5. Régulation des installations de ventilation

5.1 Introduction

Pour donner de bons résultats, le maintien des animaux de ferme en enceinte fermée doit être accompagné d'un contrôle environnemental serré. Dans le passé, on utilisait des thermostats électromécaniques pour faire démarrer et arrêter les ventilateurs d'extraction, tandis que d'autres thermostats du même type commandaient le chauffage. Ces thermostats étaient réglés à différentes températures de fonctionnement, la ventilation se déclenchant par paliers à mesure que la température s'élevait.

Dans les bâtiments exigeant un chauffage d'appoint, les thermostats de chauffage intervenaient pour limiter les baisses de température en deçà de certains seuils en faisant démarrer l'installation de chauffage. Ce mode de régulation des températures entraînait souvent des pertes d'énergie dans la mesure où les ventilateurs d'extraction n'étaient pas couplés aux commandes de chauffage et que la précision des thermostats individuels laissait à désirer. Il était difficile de maintenir une bonne séquence de paliers de ventilation à l'intérieur d'un local, compte tenu de l'intervention aléatoire d'un certain nombre de thermostats indépendants disposés tout le long du local et qui commandaient un ventilateur ou deux dans leur zone proche.

Le couplage des fils de câblage a permis d'atténuer les fluctuations, mais l'arrivée des régulateurs électroniques qui commandent de multiples appareils à partir des signaux d'un seul capteur de température ou des signaux de plusieurs capteurs qu'on met en moyenne a radicalement amélioré la maîtrise de la température et limité les pertes d'énergie.

Les premiers régulateurs électroniques étaient des appareils de régulation thermique relativement simples qui pouvaient faire tourner les ventilateurs à des vitesses variables plutôt qu'à une ou deux vitesses fixes. Il s'agissait néanmoins d'une première étape utile puisqu'elle aidait les concepteurs en ventilation à faire une évaluation correcte des besoins de ventilation minimaux des locaux abritant des animaux en croissance, locaux qui exigeaient des systèmes de ventilation aptes à maîtriser des taux d'humidité croissants. Les régulateurs ont connu de rapides progrès qui leur permettent de gérer de multiples dispositifs interreliés (ventilateurs, appareils de chauffage et même entrées d'air) dans le bâtiment à partir des variations des températures relatives par rapport à la température de consigne principale programmée dans le système.

Aujourd'hui, les régulateurs électroniques (figure 5.1) permettent une excellente gestion de la température et de l'humidité ambiantes, à condition qu'on comprenne leur fonctionnement et qu'on les programme correctement. Ces appareils ont fait des thermostats électromécaniques une chose du passé, sauf pour commander un ou deux ventilateurs à vitesse unique utilisés comme appareils de secours en cas de défaillance du matériel électronique.

Figure 5.1 Régulateur électronique de système de ventilation pouvant commander ventilateurs d'extraction, appareils de chauffage, entrées d'air et brumisateurs

Les régulateurs électroniques de température peuvent commander un certain nombre de ventilateurs d'extraction, de même que l'installation de chauffage et l'ouverture des entrées d'air, le tout à partir d'un capteur de température unique ou en faisant la

moyenne des lectures de plusieurs capteurs. Ces fonctions permettent de maintenir le système de ventilation en équilibre – les ventilateurs de circulation respectent l'ordre de leurs paliers de marche et les ventilateurs de régulation de la température ne peuvent démarrer tant que le chauffage fonctionne. De nombreux régulateurs comportent une minuterie qui tient compte de la capacité des ventilateurs et permet aux ventilateurs à vitesse variable de tourner à leur régime optimal. Une autre fonction intégrée des régulateurs est l'enregistrement des températures minimale et maximale dans le bâtiment, une excellente façon d'évaluer quotidiennement le rendement du système de ventilation.

De nombreux régulateurs comportent une fonction permettant un abaissement automatique quotidien de la température du local à mesure que les animaux prennent du poids, de manière à économiser de l'énergie, mais aussi à favoriser une croissance accélérée des animaux qui bénéficient alors d'un environnement plus frais et de renouvellements plus fréquents de l'air. Ces régulateurs possèdent une fonction d'augmentation progressive de la ventilation minimale de façon que le premier palier de ventilation reste en phase avec la production croissante d'humidité des animaux à mesure qu'ils grandissent, une condition indispensable au maintien d'un local sec et confortable. On utilise de plus en plus dans les bâtiments d'élevage un capteur d'humidité qui, dès que l'humidité ambiante dépasse la limite supérieure souhaitée, permet au régulateur électronique de commander en priorité la correction du taux d'humidité et de suspendre ainsi le réglage de la ventilation en fonction des températures. Certains régulateurs peuvent mettre le chauffage en marche pour éliminer un excès d'humidité. Enfin, certains régulateurs européens ont une fonction de surveillance du dioxyde de carbone qui leur permet de réduire au minimum la ventilation du bâtiment sans dépasser la limite admissible de CO_2, de façon à maintenir la qualité de l'air ambiant en dépit d'un faible taux de renouvellement.

5.2 Terminologie

Le régulateur de ventilation est un appareil fort complexe. Avant toute chose, il faut prendre le temps nécessaire pour se familiariser avec la terminologie et le mode d'emploi de l'appareil. Fondamentalement, le régulateur n'est rien d'autre qu'un outil qui fait ce qu'on lui dit de faire par programme. L'utilisateur doit apprendre à bien maîtriser la programmation initiale de l'appareil et à faire les modifications ultérieures rendues nécessaires par la croissance des animaux et le passage cyclique des saisons.

On trouvera ci-dessous la définition des termes et fonctions de base relatifs aux régulateurs de ventilation.

Température de consigne principale

Il s'agit de la température de base ou de référence retenue pour le local ou la pièce. Il faut choisir une température proche de la plus basse température acceptable pour le bétail ou la volaille élevé dans le bâtiment. Une baisse de un ou deux degrés sous cette valeur de référence provoquera le démarrage du système de chauffage, si l'installation en est dotée. À l'opposé, si la température du local s'élève au-dessus de la température de consigne principal, alors la ventilation sera renforcée pour freiner la hausse. Le programme du système de ventilation prévoit un certain nombre de paliers qui sont activés l'un après l'autre à mesure que monte la température, jusqu'à ce que les ventilateurs tournent à plein régime, la température ayant atteint son niveau maximal admissible.

Température de consigne relative

Écart de température, au-dessus ou au-dessous de la température de consigne principale, qui provoquera le passage à un autre palier de ventilation (p. ex., +2,0 °C) ou le démarrage du chauffage (p. ex., -2,0 °C).

Différentiel

Écart de température admissible à l'intérieur d'un palier de fonctionnement d'un ventilateur à vitesse variable, entre le point où l'appareil tourne à sa vitesse minimale et le point où il tourne à plein régime. Différentiel désigne parfois l'écart de température requis pour activer ou désactiver un appareil (comme

un ventilateur ou un appareil de chauffage). Sur quelques régulateurs (surtout européens), différentiel s'entend de la variation totale de température admise entre la ventilation minimale d'hiver et la ventilation maximale d'été.

Décalage ou zone d'insensibilité

Ces termes s'entendent de l'écart minimal de température qui n'entraîne aucun changement dans le fonctionnement du système, par exemple une zone d'insensibilité de 0,5 °C entre la ventilation à plein régime au palier 1 et la ventilation de départ au palier 2, ou un décalage de 0,5 °C entre les paliers de ventilation 2 et 3. Autre exemple : arrêt du chauffage à 0,3 °C sous la température de consigne principale.

Capteur

Dispositif qui mesure la température ambiante du local et envoie au régulateur un signal pour l'en informer. Ce type de dispositif est généralement constitué d'une thermistance, soit un élément dont la résistance électrique varie proportionnellement à la variation de la température. Le choix de l'emplacement du capteur est très important. Le capteur doit en effet être exposé à la température moyenne du local et ne pas être soumis à des courants d'air frais ou chaud, en provenance, par exemple, des entrées d'air ou des appareils de chauffage.

Courbe des températures

Courbe formée par une série de points programmés correspondant aux températures souhaitées à des moments précis du séjour des animaux dans le local, eu égard au taux d'engraissement des animaux et à la température minimale requise (température de consigne principale). Le régulateur abaisse automatiquement la température de consigne chaque jour en suivant la courbe des températures programmée dans le système.

Courbe de ventilation minimale

Courbe formée par une série de points programmés correspondant aux vitesses minimales pour le palier de ventilation 1 à des moments précis du séjour des animaux dans le local, eu égard au taux d'engraissement des animaux et à la ventilation minimale requise pour obtenir un niveau d'humidité acceptable dans le local. Le régulateur augmente automatiquement et jour après jour la vitesse minimale du ventilateur en suivant la courbe programmée dans le système.

Numéro de courbe caractéristique de moteur

Les fabricants de régulateurs utilisent souvent des numéros de courbes caractérisant le rendement des moteurs sous diverses conditions de courant/tension, afin de s'assurer que les moteurs des ventilateurs à vitesse variable de leurs clients présenteront une accélération raisonnablement linéaire tout au long de leur courbe de montée en puissance lorsqu'il seront utilisés avec un de leurs régulateurs. Le guide de l'utilisateur qui accompagne les régulateurs de ventilation comprend un tableau des moteurs avec le numéro de courbe caractéristique des moteurs recommandés pour utilisation avec leur système.

Hystérésis

L'hystérésis est une valeur de réglage attribuée au dispositif de commande d'un appareil quelconque – par exemple, un ventilateur ou un appareil de chauffage – pour qu'il reste en marche pendant un certain temps et ne soit pas entraîné dans un cycle constant d'arrêts/départs. À titre d'exemple, un ventilateur d'extraction qui démarre à 21 °C pourra se voir attribuer une valeur d'hystérésis de 0,5 °C, ce qui signifie qu'il ne s'arrêtera pas tant que la température ambiante ne sera pas descendue à 20,5 °C. Les régulateurs électroniques autorisent des valeurs d'hystérésis différentes pour le chauffage et la ventilation. Plutôt que de se limiter à une seule valeur, certains régulateurs permettent de fixer les températures de départ et d'arrêt de chaque palier de chauffage et de ventilation.

Guide de l'utilisateur

Le producteur agricole qui fait l'acquisition d'un régulateur électronique est en droit d'attendre de son fournisseur qu'il lui explique l'appareil et ses fonctions pendant et après l'installation, ce qui ne le dispense pas d'une lecture attentive du guide de l'utilisateur

deux ou trois fois par la suite pour se familiariser avec la terminologie employée et les différents réglages du système. Dans certains cas, le système de ventilation peut être relié directement au fournisseur par téléphone et/ou Internet, ce qui permet au producteur d'obtenir une assistance de vive voix (au téléphone) ou en ligne. Dans d'autres cas, le fournisseur pourra même modifier à distance les réglages de l'appareil. Certains régulateurs sont reliés directement à l'ordinateur central de la ferme, au bureau ou au domicile de l'exploitant, ce qui permet la surveillance à distance de tous les locaux des bâtiments raccordés au réseau informatique.

Un régulateur électronique exige de dix à cent réglages différents, qui doivent tous être programmés dans le système de l'appareil. On aura donc intérêt à garder le guide de l'utilisateur à portée de la main, dans une enveloppe protectrice en plastique, ce qui facilitera sa consultation. La plupart des exploitations agricoles exigent divers rajustements, d'une saison à l'autre. La chose est d'autant plus vraie dans les locaux où se pratique la conduite en bande, où l'exploitant doit chaque semaine modifier les températures et les taux de renouvellement d'air minimaux, à moins bien sûr que le régulateur ait été programmé pour effectuer lui-même ces modifications en fonction d'une courbe de ventilation minimale.

5.3 Principes de fonctionnement

Le régulateur électronique est d'abord un gestionnaire de température. L'ajout d'autres fonctions – comme la régulation du taux d'humidité et la mesure de la pression statique et de la concentration en dioxyde de carbone –, permettra à l'exploitant d'offrir à ses animaux une qualité d'air encore supérieure. La distinction la plus importante entre un régulateur électronique et un thermostat thermomécanique est le fait que l'appareil électronique utilise l'information qui lui provient de capteurs de température pour effectuer un grand nombre d'interventions à des températures précises, plutôt qu'une seule opération à une température donnée. Ainsi, un régulateur peut faire démarrer plusieurs ventilateurs à différentes températures de départ; il peut aussi commander l'installation de chauffage ou les entrées d'air en fonction de la température souhaitée.

5.3.1 Appareils de contrôle proportionnel et de type PID

La plupart des régulateurs électroniques utilisés dans les bâtiments d'élevage de bétail et de volaille sont des appareils dits proportionnels (ou de type P). Le régulateur de type proportionnel fonctionne selon le principe qu'il y a toujours une erreur, sauf lorsque l'appareil est exactement à la température de consigne. Lorsque la température du local s'écarte de cette température (vers le haut ou vers le bas), le système reçoit un signal d'erreur et une réponse proportionnelle est apportée sous la forme de l'accélération d'un ventilateur à vitesse variable, du démarrage d'un ventilateur à vitesse unique ou d'un appareil de chauffage ou encore de l'ouverture d'une entrée d'air.

Les régulateurs de type proportionnel donnent de bons résultats dans les bâtiments d'élevage. L'admission d'importants volumes d'air tirés de l'extérieur pour contrecarrer une élévation de la température a pour effet d'accroître la force du courant d'air dans la zone de stabulation, ce qui contribue à réduire l'influence de la masse d'air qui était passée au delà de la température de consigne. Pour plus d'information, voir le *chapitre 7 – Systèmes de refroidissement.*

Quelques marques de régulateurs électroniques utilisent des dispositifs de type PID (*Proportional-Integral-Derivative* : dérivée-proportionnelle-intégrale). Ces dispositifs fonctionnent selon un autre principe : ils s'efforcent plutôt de minimiser les erreurs et de maintenir une qualité d'air qui soit aussi près que possible de l'objectif visé.

La faiblesse des régulateurs de type PID est qu'ils ont tendance à faire un usage excessif des ventilateurs et à accroître l'intensité des courants d'air, notamment au printemps et à l'automne. À noter que certains régulateurs PID autorisent une modification des valeurs P, I et D (pour un réglage fin). Il faut s'assurer de bien comprendre les principes de fonctionnement des appareils de type P et PID avant de procéder à un réglage fin, sinon on risque de perturber sérieusement la ventilation.

5.3.2 Mesure de la température

Comme le paramètre de contrôle primaire de tous les systèmes de ventilation est la température, il faut s'assurer que les capteurs sont positionnés de manière à faire une lecture juste de la température intérieure, condition essentielle au maintien de celle-ci dans l'intervalle souhaité. Les capteurs de température sont de petites thermistances recouvertes d'une gaine de plastique (figure 5.2). Suspendues dans l'air, elles acheminent au régulateur un signal électrique au moyen d'un fil. La thermistance est très sensible à toute variation de la température, d'où la raison d'être de la gaine de plastique qui réduit l'intensité du signal pour éviter que les variations momentanées ou infimes de la température ne déstabilisent le régulateur. Une caractéristique standard des capteurs de température utilisés dans les systèmes de ventilation des bâtiments de ferme est une constante de temps de 3 minutes. Cela signifie que chaque fois que le capteur est exposé à une variation donnée de la température, la thermistance perçoit au moins 90 % de la variation de température dans un délai de 3 minutes. Ce retard favorise une plus grande stabilité de la température ambiante et permet une réponse plus graduelle de la ventilation. On prendra soin de replier le fil de la thermistance de façon que celle-ci ait la « tête » en l'air (figure 5.2), pour empêcher l'eau d'y pénétrer et de l'endommager.

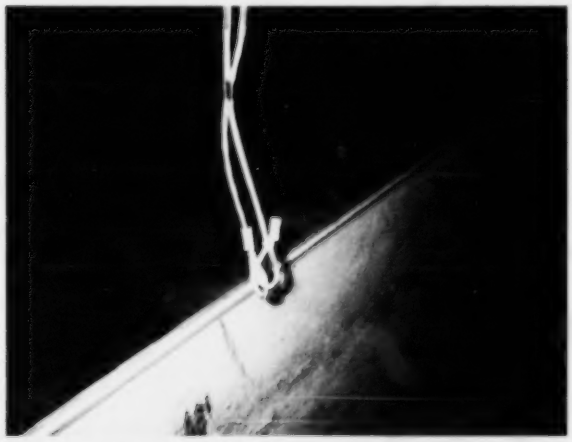


Figure 5.2 Deux capteurs de température, le premier relié au régulateur de ventilation, le deuxième à un système d'alarme indépendant

Placer les capteurs aux endroits où ils pourront mesurer la température ambiante moyenne dans la zone concernée. Éviter de les positionner en ligne directe avec un jet d'air venu de l'extérieur ou avec une source de chaleur provenant, par exemple, d'un appareil de chauffage ou d'un appareil d'éclairage. Idéalement, on installera les capteurs près des aires occupées par les animaux, mais hors de leur portée : un capteur arraché ou déconnecté peut dérégler considérablement la ventilation. Une bonne solution consistera à suspendre les capteurs au plafond de manière qu'ils arrivent à peu près au niveau des yeux de l'exploitant, sinon un peu plus bas, et au centre de la zone à mesurer (un enclos, par exemple). Dans le cas de volailles élevées sur parquets, il est conseillé de descendre le capteur beaucoup plus bas, de façon que le dispositif mesure la température de l'air ambiant qui entoure les oiseaux. Dans les poulaillers où les pondeuses sont en cage, la suspension du capteur à mi-chemin entre les cages supérieures et inférieures, le long d'un des couloirs de service, devrait donner une mesure adéquate de la température moyenne du local.

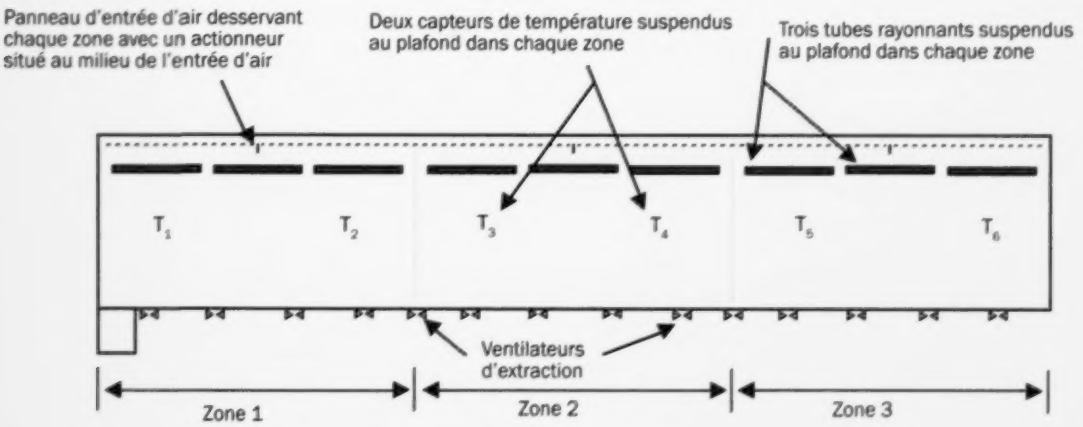
CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Installer les capteurs de température hors de portée des animaux, à distance des entrées d'air et des appareils de chauffage, à un endroit où ils pourront prendre la température réelle moyenne du local, pour éviter les excès ou les manques de ventilation. Si le système le permet, installer au moins deux capteurs par local : en cas de panne de l'un deux, le régulateur pourra utiliser les signaux de l'autre jusqu'à ce que le dispositif défectueux soit réparé ou remplacé.

Dans un bâtiment à ventilation naturelle, il faut s'assurer que les capteurs de température ne sont pas directement exposés au rayonnement solaire, ni à l'énergie d'appareils de chauffage par rayonnement : cela aurait pour effet d'exagérer les variations moyennes de la température et d'entraîner une ventilation excessive. Un capteur placé dans la « mire » d'un appareil de chauffage par rayonnement enverra au régulateur des signaux erronés qui lui feront couper le chauffage prématurément.

Un autre problème rencontré dans les bâtiments à ventilation naturelle concerne le manque de régularité des déplacements internes de l'air. Les capteurs placés dans les aires occupées par les animaux ne réagissent pas toujours aussi rapidement aux courants froids que le souhaiterait l'exploitant désireux de protéger ses animaux d'un refroidissement brusque ou d'un simple inconfort. Les installateurs de systèmes de ventilation laissent souvent une bonne longueur de fil autour des capteurs de façon que les exploitants puissent les rapprocher des murs latéraux à l'approche des temps froids et les ramener vers le milieu de l'enclos avec l'arrivée des temps plus cléments.

Dans les grands bâtiments d'élevage, on utilise deux capteurs de température ou plus, de façon à obtenir une moyenne. Les locaux dont la longueur ou la largeur dépasse 65 pi (20 m) sont dotés de deux capteurs dont les lectures sont fusionnées et affichées par le régulateur en tant que température ambiante moyenne. (Au besoin, on pourra faire apparaître la lecture individuelle de chaque capteur et s'en servir pour gérer de manière indépendante les équipements desservant chaque secteur.)

Les locaux de plus de 150 pi (46 m) de longueur doivent être divisés en au moins deux zones, dont chacune sera desservie par au moins un capteur, de préférence deux. Cette division n'implique pas une barrière physique entre les zones, mais seulement une gestion plus étroite de chacune. On peut toujours installer un régulateur distinct dans chaque zone, mais bon nombre de régulateurs de conception récente peuvent gérer plusieurs zones. Dans ces grandes installations, les ventilateurs sont commandés en fonction de la moyenne des températures enregistrées par l'ensemble des capteurs. Par comparaison, les entrées d'air et les sources de chaleur situées dans chaque zone sont commandées en fonction de la température



Stratégie de régulation de la température dans un grand bâtiment

Commande de tous les ventilateurs d'extraction en fonction de divers écarts de température relative établis d'après la moyenne des températures des capteurs T_1 à T_6 (tous)

Commande de l'entrée d'air de la zone 1 en fonction de divers écarts de température relative établis d'après la moyenne des températures des capteurs T_1 et T_2

Commande de l'entrée d'air de la zone 2 en fonction de divers écarts de température relative établis d'après la moyenne des températures des capteurs T_3 et T_4

Commande de l'entrée d'air de la zone 3 en fonction de divers écarts de température relative établis d'après la moyenne des températures des capteurs T_5 et T_6

Commande des trois générateurs de chaleur de la zone 1 en fonction d'un écart de température relative établi d'après la moyenne des températures des capteurs T_1 et T_2

Commande des trois générateurs de chaleur de la zone 2 en fonction d'un écart de température relative établi d'après la moyenne des températures des capteurs T_3 et T_4

Commande des trois générateurs de chaleur de la zone 3 en fonction d'un écart de température relative établi d'après la moyenne des températures des capteurs T_5 et T_6

Figure 5.3 Vue en plan d'un grand poulailler de poulets à griller comportant trois zones de régulation et six capteurs de température

enregistrée uniquement par le ou les capteurs situés dans leur zone respective. Une telle stratégie (figure 5.3) permet le maintien d'une température beaucoup plus uniforme dans les grands bâtiments.

Fonctions du régulateur de ventilation

Le local d'engraissement-finition d'une porcherie servira d'exemple pour illustrer les fonctions et principes de fonctionnement du régulateur de ventilation. La figure 5.4 représente un local de 40 pi x 43 pi (12,3 m x 13,2 m) comportant huit cases (avec planchers entièrement lattés). Le local abrite 200 porcs d'un poids vif moyen de 27 kg (60 lb). Les animaux restent dans ce local jusqu'à ce qu'ils aient atteint leur poids de marché. Un aérotherme (appareil de chauffage par air chaud en forme de boîte carrée ressemblant à une chaufferette de chantier) d'une puissance de 60 000 BTU/h permettra d'y maintenir une température de 21,5 °C, soit la température minimale requise par les animaux à leur arrivée. Le local est aussi doté de quatre ventilateurs d'extraction (dont deux à vitesse variable) d'une capacité variant entre 800 et 16 000 pi³/min qu'on utilisera par paliers selon le temps de l'année et le stade d'engraissement des porcs. L'air frais pénètre dans le local par seize entrées de plafond évacuant d'un seul côté; ces entrées sont manœuvrées par l'intermédiaire d'un actionneur à câbles relié au régulateur de ventilation.

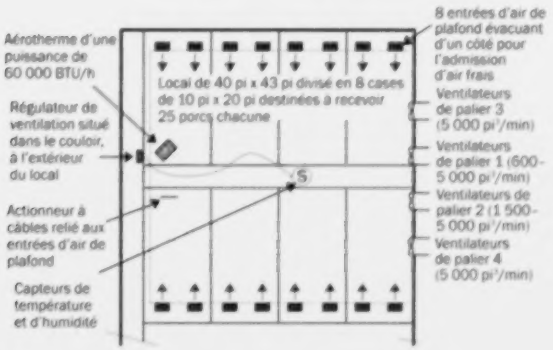


Figure 5.4 Vue en plan du local d'engraissement-finition d'une porcherie illustrant les différents éléments d'un système de ventilation

5.3.3 Fonctions de la régulation de la température

La fourchette normale des températures ambiantes dans un local logeant des porcs aux stades de l'engraissement et de la finition est de 17 à 28 °C, selon la taille des animaux et la période de l'année. Le rôle du régulateur de ventilation est de maintenir le local à l'intérieur de cette fourchette et d'éviter les variations brusques ou fréquentes de température. Si l'on suppose que la température minimale souhaitée pour de jeunes porcs en début de croissance est de 21,5 °C, on fixera à 22,0 °C la température de consigne principale donnée au régulateur. Sous cette température de référence, le régulateur commandera un apport de chaleur et au-dessus de cette température, il renforcera la ventilation pour diminuer la température et/ou son rythme d'accroissement. La figure 5.5 contient la représentation graphique de cette stratégie de régulation de la température par la ventilation et énumère un certain nombre de réglages types du régulateur.

Pour lutter efficacement contre l'humidité dans ce local, il faudra un débit de ventilation d'au moins 800 pi³/min, débit qui sera par ailleurs appelé à augmenter à mesure que les porcs prendront du poids. Le choix d'un ventilateur à vitesse variable d'une capacité de soufflage de 800 à 2 500 pi³/min est tout indiqué pour assurer la ventilation minimale (au palier 1) du local. Le ventilateur d'extraction doit tourner à une vitesse minimale de 30 à 40 % de sa capacité totale, quelle que soit la température du local, de manière que l'air du local se renouvelle au rythme d'au moins 800 pi³/min. La vitesse de l'air dans le ventilateur doit être suffisante pour que les volets ou les lames montés à l'intérieur de l'appareil se soulèvent d'environ un pouce, ce qui indique que le ventilateur exerce un tirage suffisant pour que le souffle de l'air sur le moteur empêche celui-ci de surchauffer.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Les moteurs à vitesse variable doivent tourner à une vitesse minimale suffisante pour que le souffle de l'air sur le moteur empêche celui-ci de surchauffer. En pratique, il faut que la vitesse du moteur soit réglée à au moins 30 au 40 % de sa capacité à plein régime.

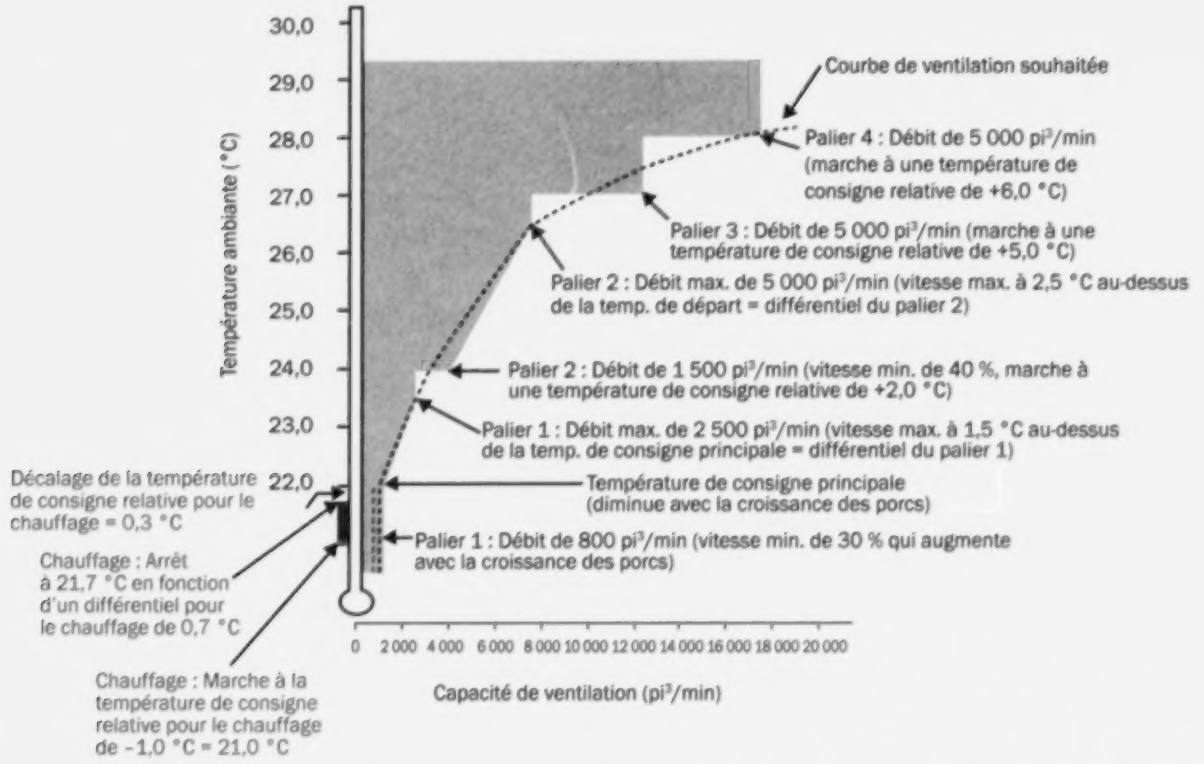


Figure 5.5 Stratégie de régulation de la température par la ventilation dans un local d'engraissement-finition abritant 200 porcs nouvellement placés de 27 kg chacun

Si la température extérieure tombe sous le point de congélation, les porcs ne dégageront pas suffisamment de chaleur pour réchauffer l'air froid venu de l'extérieur, de sorte que la température du local ne pourra pas se maintenir au niveau minimal visé, soit 21,5 °C. L'aérotherme se mettra en marche dès que la température s'abaissera à moins de 21,0 °C, car, comme on le voit à la figure 5.5, la température de consigne relative du chauffage est de -1,0 °C (22,0 °C – 1,0 °C). L'aérotherme relèvera la température du local de 0,7 °C, soit le différentiel qu'on lui a assigné, puis s'arrêtera à 21,7 °C. Il importe que le chauffage s'arrête à au moins 0,3 °C sous la température de consigne principale fixée pour le local (autrement dit, il y a un décalage de la température de consigne relative pour le chauffage de -0,3 °C. Ce décalage évite que la température ambiante dépasse le niveau souhaité. En effet, l'installation de chauffage, conçue pour faire face aux plus grands froids, est surdimensionnée dans la plupart des cas. Le supplément d'énergie calorifique libéré par l'appareil de chauffage à partir du moment où le capteur transmet le signal d'arrêt fait en sorte que la température du local continue d'augmenter de quelques dixièmes de degré. Par conséquent, si le chauffage continue de fonctionner jusqu'à ce que la température de consigne principale soit atteinte ou dépassée, il s'ensuivra un dépassement de la température souhaitée, ce qui provoquera une demande supplémentaire de ventilation pour éliminer l'excès de chaleur. À noter que les dépassements de température sont plus importants avec les systèmes de chauffage utilisant l'eau comme caloporteur parce que ceux-ci prennent plus de temps à réagir à des augmentations ou à des baisses de la température; le réglage de la zone d'insensibilité du chauffage ou du décalage de la température de consigne relative pour le chauffage (figure 5.5) devient alors très important pour éviter des dépenses inutiles.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Il faut s'assurer que le chauffage s'arrête à au moins 0,3 °C sous la température de consigne principale, de manière à éviter le gaspillage d'énergie attribuable au surdimensionnement des installations de chauffage qui provoque des dépassements de température. Le décalage de la température de consigne relative pour le chauffage doit être encore plus grand dans le cas des systèmes utilisant l'eau comme caloporteur.

Dès que la température ambiante s'élève au-dessus de la température de consigne principale, le ventilateur à vitesse variable de palier 1 accélère le rythme, de façon à aspirer plus d'air dans le local et à ralentir ainsi la progression de la température. L'arrivée d'air frais supplémentaire améliore la qualité de l'air ambiant, pour les animaux mais aussi pour le personnel agricole présent sur les lieux. Le différentiel prévu pour que le ventilateur de palier 1 atteigne sa pleine vitesse (100 %) est normalement fixé à 1,0 °C ou 1,5 °C (dans l'exemple de la figure 5.5, cette valeur est de 1,5 °C). Ce différentiel est suffisant pour empêcher les variations subites des débits d'air attribuables à l'activité animale (au moment, par exemple, de l'alimentation), mais assez faible pour ne pas nuire à la qualité de l'air.

Une fois que le ventilateur de palier 1 fonctionne normalement à plein régime (parce que les porcs ont pris du poids et/ou que l'atmosphère s'est réchauffée), toute élévation supplémentaire de la température exigera le démarrage du ventilateur de palier 2 pour ralentir la progression de la température. La température de consigne relative pour la ventilation de palier 2 est programmée à 0,5 ou 1 °C au-dessus de la température déclenchant le plein régime du ventilateur de palier 1. Comme on le voit à la figure 5.5, la ventilation de palier 2 intervient à partir de 24,0 °C, car la température de consigne relative du palier 2 est de +2,0 °C (22,0 °C + 2,0 °C). Le décalage de 0,5 °C prévu entre le sommet du palier 1 et le bas du palier 2 permet au ventilateur de palier 1 de fonctionner à plein régime pendant un certain temps. Le régulateur détermine si l'atmosphère du local peut être convenablement gérée sans qu'on fasse intervenir d'autres ventilateurs (on économisera de l'énergie si les ventilateurs du palier 2 ne sont pas mis en marche immédiatement).

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Il convient de prévoir entre chaque palier de ventilation une zone d'insensibilité ou un décalage suffisant pour donner le temps au régulateur, à chaque palier, de mesurer convenablement la température du local et d'éviter ainsi de relever prématurément le débit de soufflage ou le niveau de chauffage.

Le débit d'air supplémentaire maximal admissible lors du démarrage du deuxième ventilateur est de 2 500 pi³/min, pour un débit total n'excédant pas 5 000 pi³/min (soit le double du débit de palier 1). Le ventilateur de palier 2 est souvent un autre appareil à vitesse variable, de sorte que la capacité de soufflage minimale est inférieure à la capacité maximale du ventilateur de palier 1 et autorise une légère augmentation supplémentaire du taux de renouvellement d'air total. Une solution souvent retenue pour un local de cette taille est un ventilateur d'extraction d'une capacité de 1 500 à 5 000 pi³/min, de sorte que le débit de ventilation total lorsque le palier 2 sera enclenché atteindra 4 000 pi³/min. Si la température ambiante augmente d'une autre tranche de 2,5 °C (soit le différentiel de palier 2), le ventilateur de palier 2 tournera alors à plein régime, le taux de renouvellement de l'air à l'intérieur du local atteignant 7 500 pi³/min (2 500 pi³/min + 5 000 pi³/min) et la température réelle, 26,5 °C.

Conformément à la règle préconisée d'un doublement maximal du débit à chaque palier successif de ventilation, la capacité de soufflage du ventilateur de palier 3 ne devrait pas dépasser 7 500 pi³/min. On suppose qu'un ventilateur d'extraction à vitesse unique d'une capacité de 5 000 pi³/min est utilisé au palier 3 et qu'il entre en action à une température de consigne relative de +5,0 °C (c.-à-d. à 5,0 °C au-dessus de la température de consigne principale). À une température ambiante de 27,0 °C, le débit de ventilation total est de 12 500 pi³/min, soit 62,5 pi³/min par porc. La taille des porcs à cette étape exige un débit de ventilation, pour des températures estivales, d'environ 60 pi³/min. Ces porcs resteront néanmoins dans leurs cases jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids de marché de 110 à 120 kg. Des porcs de ce poids exigent un débit de ventilation d'au moins 80 pi³/min

par animal en été, de sorte qu'il faudra un palier de ventilation 4. Dans le présent cas, un autre ventilateur (palier 4) de 5 000 pi^3/min entre en action à une température de consigne relative de +6,0 °C (soit à 28,0 °C), ce qui donne un taux de renouvellement d'air total de 17 500 pi^3/min (soit 87,5 pi^3/min par porc). Le local dont il est ici question est doté de quatre ventilateurs d'extraction capables de répondre à la gamme entière des besoins de ventilation prévisibles. Les débits de ventilation progressent par paliers en réponse à l'augmentation des températures ambiantes, depuis la température de consigne principale jusqu'à 6,0 °C au-dessus. Pour la plupart des animaux d'élevage, il est recommandé de passer du minimum au maximum de ventilation sur une échelle progressive des températures ambiantes de 6 à 7 °C.

La plupart des régulateurs électroniques sont conçus de telle façon que les températures de consigne relatives sont fonction de la température de consigne principale. L'abaissement de la température de consigne principale, à mesure que les porcs prennent du poids, entraîne l'abaissement automatique dans le système de tous les autres paliers de ventilation et de chauffage (on évite ainsi à l'exploitant de devoir reprogrammer constamment son système). Les paliers de ventilation pour le local dont il est ici question couvrent une gamme de températures allant de 22,0 à 28,0 °C pour des porcs nouvellement placés en engraissement, mais plus généralement une fourchette de températures allant de 18,0 à 24 °C pour des porcs de poids de marché, par suite d'un abaissement progressif de la température de consigne principale (effectué automatiquement ou manuellement) à mesure que les animaux prennent du poids. Cette méthode est utilisée dans les locaux où se pratique la conduite en bande (p. ex. ceux qui abritent des porcs d'engraissement, des poulets à griller, des dindonneaux couvés et des lots d'animaux à l'engrais).

5.3.4 Autres fonctions de la régulation de la température

Enregistrement des haute et basse températures

La plupart des régulateurs électroniques enregistrent automatiquement les lectures de température les plus hautes et les plus basses relevées par les capteurs depuis la dernière fois qu'on les a remis à zéro. Le relevé quotidien de ces données est une excellente façon de vérifier le bon fonctionnement du système de ventilation. Si le relevé comporte une ou des lectures anormalement hautes ou basses, il faut en trouver la cause et la corriger sans délai, avant que le rendement de l'élevage n'en soit affecté. Pour plus d'information, voir le *chapitre 12 – Maintenance et dépannage.*

Alarmes haute et basse températures

La plupart des régulateurs électroniques comportent une fonction d'alarme haute et basse températures et sont programmés pour transmettre un signal à un ou plusieurs dispositifs d'alarme externes. Certains appareils ont également une fonction d'atténuation de l'alarme à partir de la lecture de la température extérieure. Cette fonction réduit le nombre de manipulations à faire pour éviter les fausses alarmes attribuables aux extrêmes de chaud ou de froid de l'air extérieur.

Abaissement quotidien de la température

Certains régulateurs électroniques sont dotés d'une option qui permet de programmer dans le système un taux de réduction quotidienne de la température ambiante, à partir de la température de consigne principale originale. Celle-ci s'abaisse donc automatiquement d'une valeur uniforme chaque jour durant le séjour des animaux dans le local, de façon qu'on puisse optimiser le taux de renouvellement de l'air et que la qualité de l'air soit maintenue à un niveau élevé pendant toute la période de croissance des animaux.

Courbe de températures

De nombreux régulateurs comportent une fonction de modification automatique de la courbe de températures en vertu de laquelle l'exploitant peut programmer dans le système de nouvelles valeurs de température de consigne principale pour toute la

durée de séjour des animaux dans le bâtiment. En vertu de cette option, une nouvelle valeur de consigne est attribuée à des dates déterminées d'avance (généralement 5 à 10 jours différents) pendant la durée du séjour des animaux. Le régulateur abaisse automatiquement la température de consigne – et toutes les températures qui lui sont associées – de façon linéaire tous les jours entre chaque date programmée dans le système, de façon que la baisse soit uniforme et ne soumette pas les animaux à un stress inutile. Le tableau 5.1 présente un ensemble de valeurs relatives à la courbe de températures proposée pour le local d'engraissement-finition de porcs donné en exemple.

Tableau 5.1 Valeurs de la courbe de températures de consigne pour le local d'engraissement-finition donné en exemple

Point sur la courbe	1	2	3	4	5
Jour de croissance	1	5	20	40	85
Température de consigne (°C)	22,0	22,0	21,0	20,0	18,0

Options de gestion des paliers de ventilation

Certains régulateurs de ventilation perfectionnés sont dotés d'une série de relais grâce auxquels on peut choisir, par commutation, la combinaison de ventilateurs souhaitée aux divers paliers de ventilation. Ainsi, est-il possible, grâce à ces relais, de mettre hors circuit un certain nombre de ventilateurs plus petits et moins efficaces lors des périodes de temps chaud pour ne laisser tourner que les ventilateurs de gros diamètre, plus éconergétiques. Une comparaison entre cette stratégie et la stratégie classique consistant à exploiter les ventilateurs en séquence est présentée dans le tableau 5.2. On y constate qu'un certain nombre de gros ventilateurs de 48 po de diamètre parvient à déplacer sans peine le même volume d'air qu'un plus grand nombre de ventilateurs de 24 po. Selon le nombre d'heures de fonctionnement de la ventilation aux paliers 4 et 5, la stratégie de sélection des équipements à certains paliers de ventilation peut se révéler économiquement intéressante et réduire le nombre d'heures d'utilisation des petits ventilateurs d'extraction, qui sont moins efficaces.

Les économies réalisées en théorie par la mise en œuvre de la stratégie de sélection des ventilateurs par commutation dépendent du système. Elles peuvent en effet être annulées si la stratégie exige une gestion trop soutenue. Par exemple, si des ventilateurs fonctionnent aux paliers 4 et 5 pendant 1 000 heures dans une année et que la stratégie permet de réaliser une économie de 3,35 kW ou de 402 $, soit 1 000 heures x 3,35 kW x 0,12 $/kWh, le simple oubli de modifier la configuration à chaque saison pourrait annuler l'économie potentielle.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Dans les bâtiments de grande taille, les régulateurs de ventilation dotés de relais de commande des ventilateurs permettent à l'exploitant de réaliser des économies intéressantes en coupant, par temps doux, les petits ventilateurs qui sont moins efficaces.

Tableau 5.2 Comparaison entre les stratégies de ventilation par séquence et par sélection des ventilateurs, et leurs consommations énergétiques respectives

Palier	Stratégie par séquence de ventilation			Stratégie par sélection des ventilateurs		
	Ventilateurs en marche	Débit d'air en pi³/min	Consommation en watts[a]	Ventilateurs en marche	Débit d'air en pi³/min	Consommation en watts[a]
1	3 x 24 po, vit. var.	≤ 15 000	2,23 kW	3 x 24 po, vit. var.	≤ 15 000	2,23 kW
2	7 x 24 po, vit. var.	≤ 35 000	5,21 kW	7 x 24 po, vit. var.	≤ 35 000	5,21 kW
3	12 x 24 po	60 000	8,93 kW	12 x 24 po	60 000	8,93 kW
4	12 x 24 po + 2 x 48 po	100 000	12,19 kW	4 x 24 po + 4 x 48 po	100 000	9,51 kW
5	12 x 24 po + 5 x 48 po	160 000	17,09 kW	8 x 48 po	160 000	13,06 kW
6	12 x 24 po + 8 x 48 po	220 000	21,99 kW	12 x 24 po + 8 x 48 po	220 000	21,99 kW

[a]Appareils fonctionnant à une tension de 240 volts. Les ventilateurs de 24 po tirent un courant de 3,1 ampères et les ventilateurs de 48 po, un courant de 6,8 ampères.

5.3.5 Options de régulation de l'humidité

Courbe de vitesse minimale

À mesure que les animaux de ferme grossissent, leur activité métabolique s'accroît, ce qui se traduit par une production supérieure de chaleur et d'humidité. Pour garder les locaux relativement secs et frais, il faudra donc que la ventilation minimale des lieux soit périodiquement relevée. Dans les locaux peu chauffés, la température de l'air ambiant ne s'élève jamais suffisamment pour provoquer le relèvement automatique de la ventilation par le système. Le rajustement est obtenu soit par une intervention manuelle de l'exploitant, soit par le biais d'une fonction de maintien d'une courbe minimale de vitesse de ventilation et/ou d'une fonction de plafonnement des taux d'humidité. Ces fonctions, offertes par de nombreux régulateurs, maintiennent la vitesse des ventilateurs à un niveau minimal – programmé ou défini par la courbe de vitesse programmée dans le régulateur –, pour toute température du local égale ou inférieure à la température de consigne principale, à moins que les ventilateurs reçoivent de la minuterie du système un signal de départ ou d'arrêt. La vitesse minimale des ventilateurs augmente dès que le taux d'humidité dépasse le niveau programmé dans la fonction de plafonnement de l'humidité.

À l'exemple de ce qui se passe pour la courbe de températures, on programme une vitesse minimale de fonctionnement des ventilateurs de palier 1 à des dates déterminées d'avance pendant le séjour des animaux dans le local. Le régulateur électronique augmente automatiquement la vitesse des ventilateurs de jour en jour, de façon linéaire, entre les valeurs successives de la courbe, de manière à maintenir la vitesse minimale des ventilateurs au niveau défini par la courbe. Le tableau 5.3 présente les valeurs de la courbe de vitesse minimale pour le local d'engraissement-finition de porcs donné en exemple. Les valeurs sont établies en fonction de la ventilation minimale requise à chaque étape de la croissance des animaux et des caractéristiques des ventilateurs utilisés pour la ventilation de palier 1.

Tableau 5.3 Valeurs de la courbe de vitesse minimale pour le local d'engraissement-finition donné en exemple

Point sur la courbe	1	2	3	4	5
Jour de croissance	1	5	20	40	85
Vitesse minimale, ventilateurs de palier 1	40 %	40 %	44 %	50 %	60 %

Capteurs d'humidité

Un certain nombre de régulateurs électroniques possèdent une fonction de régulation de l'humidité qui donne à l'exploitant un autre moyen de s'assurer que l'atmosphère du local n'est pas trop humide. Pour réaliser cette option, un capteur d'humidité est installé dans le local et mesure en permanence le taux d'humidité relative ambiante. Le régulateur est programmé pour relever la ventilation minimale dans une proportion déterminée chaque fois que le taux d'humidité relative (HR) dépasse le maximum prescrit. Dans la plupart des locaux d'élevage, le taux d'HR est maintenu sous les 70 %.

D'autres régulateurs ont une option visant le même but, mais qui fonctionne différemment : dans ce cas, l'air est débarrassé de son humidité par une élévation de la température, commandée par le régulateur lorsque le taux d'humidité relative devient trop élevé. Cette option se retrouve plus souvent dans les systèmes européens.

La figure 5.6 montre un capteur d'humidité attaché à un poteau de soutien, dans un poulailler de poulets à griller. Quand l'air du local est bien mélangé, le niveau d'humidité est relativement égal partout, de sorte que l'emplacement du capteur n'est pas primordial. Les précautions à prendre sont les mêmes que dans le cas des capteurs de température : les capteurs d'humidité ne doivent pas être près des murs froids du bâtiment, ni dans le sillage des entrées d'air ou des appareils de chauffage. On installera un seul capteur d'humidité par local, près d'un des capteurs de température.

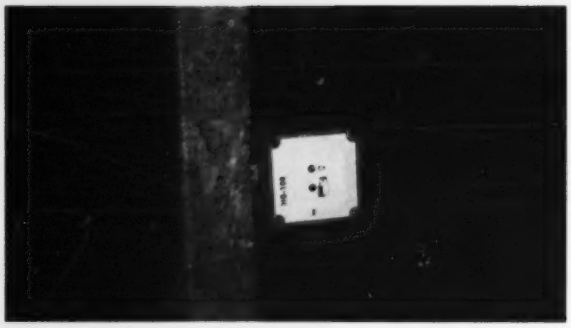


Figure 5.6 Capteur d'humidité installé dans un poulailler

Les capteurs d'humidité se sont considérablement améliorés au cours des dernières années, mais leur durée de vie utile, dans un milieu dominé par la présence animale, est généralement inférieure à cinq ans. Il faut s'assurer que les capteurs sont bien protégés de l'eau et de la poussière lors des opérations de nettoyage. Débrancher et enlever les appareils pour le nettoyage des lieux, sinon les recouvrir d'un sac de plastique solidement attaché. Il convient de vérifier régulièrement l'exactitude des appareils au moyen d'un hygromètre portatif fiable, pour s'assurer que ses lectures sont exactes : un capteur d'humidité dont les lectures sont 10 % trop élevées peut entraîner une augmentation importante des frais de chauffage.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Vérifier les capteurs d'humidité au moins une fois par mois au moyen d'un hygromètre portatif fiable pour s'assurer que ses lectures sont justes et éviter ainsi un important gaspillage d'énergie.

5.3.6 Options de réglage de l'ouverture des entrées d'air

Réglage en fonction de la température et selon le palier de ventilation

Les régulateurs électroniques de ventilation comportent une fonction de réglage de l'ouverture des entrées d'air qui peut être intégrée au système de l'appareil ou se réaliser par l'intermédiaire d'un module d'appoint (figures 5.7 et 5.8). Cette fonction permet de programmer l'ouverture des entrées d'air de façon à générer un jet d'air frais suffisant dans le local et à créer un schéma constant de mélange de l'air aux divers paliers de ventilation. Chaque palier fait intervenir un certain nombre de ventilateurs d'extraction et est enclenché par une variation de la température ambiante. Le système commande alors aux panneaux des entrées d'air, par l'intermédiaire d'un actionneur à câbles, de s'ouvrir pour laisser passer le débit d'air frais requis pour compenser l'excès de chaleur. Le degré d'ouverture des entrées d'air à chaque palier de ventilation étant primordial, on procédera à des essais à la fumée et à des mesures de la pression statique à l'aide d'un manomètre pour s'assurer de l'exactitude des valeurs qui seront programmées dans le système du régulateur.

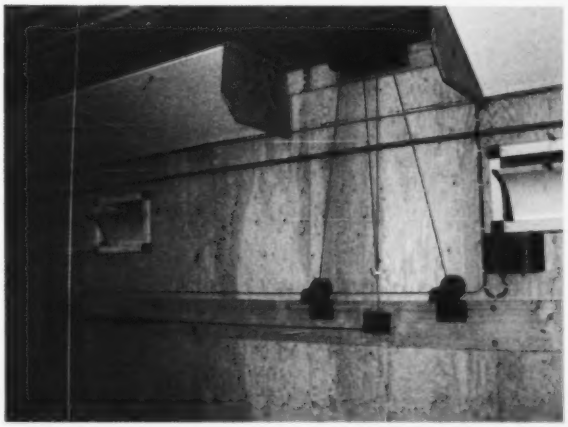


Figure 5.7 Actionneur d'entrée d'air à câbles commandé par un régulateur de ventilation

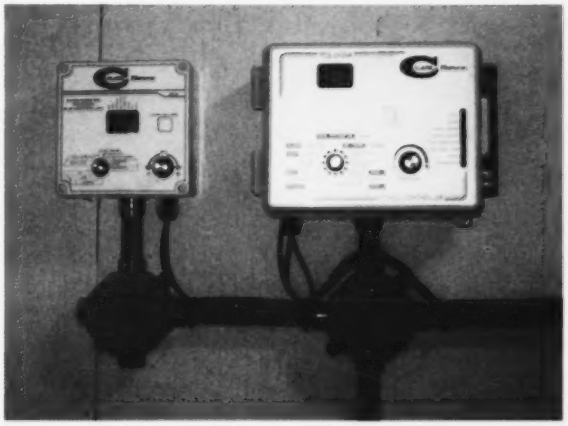


Figure 5.8 Régulateur de ventilation accompagné d'un module d'appoint pour l'ouverture et la fermeture des entrées d'air

Tableau 5.4 Ouverture approximative des entrées d'air à prévoir à chaque palier de ventilation pour le local d'engraissement-finition des porcs donné en exemple

Palier de ventilation	Débit d'air estimatif[1]	Vitesse d'admission d'air estimative[2]	Superficie d'entrée d'air[3] requise	Ouverture approximative des entrées d'air	
				En po[4]	En %[5]
Palier 1, min.	800 pi^3/min	1 000 pi/min	0,8 /2,0 = 0,4 pi^2	0,13	1 %
Palier 1, max.	**2 500 pi^3/min**	**1 000 pi/min**	**2,5/1,2 = 2,1 pi^2**	**0,70**	**7 %**
Palier 2, min.	4 000 pi^3/min	900 pi/min	4,4 pi^2	1,50	15 %
Palier 2, max.	**7 500 pi^3/min**	**800 pi/min**	**9,4 pi^2**	**3,10**	**31 %**
Palier 3	12 500 pi^3/min	700 pi/min	17,9 pi^2	6,00	60 %
Palier 4	**17 500 pi^3/min**	**600 pi/min**	**29,2 pi^2**	**9,70**	**97 %**

[1]Le débit est estimé à partir des évaluations moyennes de puissance fournies par les fabricants.
[2]La vitesse d'admission d'air estimative est calculée en fonction du schéma de circulation qu'on souhaite créer dans le local. La meilleure façon d'obtenir une valeur juste est de procéder à un essai à la fumée.
[3]Superficie des entrées d'air = (débit d'air ÷ vitesse de l'air). Pour la ventilation de palier 1, il faudra tenir compte d'un certain nombre d'infiltrations fortuites qui constituent autant d'entrées naturelles. Ce détail rappelle l'importance de calibrer sur place l'ouverture des entrées d'air au moyen d'un essai à la fumée, pour s'assurer que le schéma de circulation qui sera créé aura les caractéristiques souhaitées. Pour des débits d'air plus importants, les infiltrations deviennent négligeables.
[4]Largeur des ouvertures = superficie des entrées d'air en pi^2 ÷ longueur totale des entrées d'air en pi x 12 po/pi.
[5]Les régulateurs utilisent souvent un pourcentage de l'ouverture maximale des entrées d'air comme paramètre pour programmer la dimension de l'ouverture à chaque palier. Dans le présent tableau, l'ouverture maximale qu'on pourra atteindre au moyen de l'actionneur à câbles est estimée à 10 po.

Pour mettre en œuvre cette option, la plupart des régulateurs de ventilation doivent avoir en programme une valeur pourcentuelle d'ouverture des entrées d'air pour chaque palier de ventilation, l'ouverture complète des entrées étant égale à 100 % de l'ouverture permise par l'actionneur à câbles. La meilleure façon d'obtenir des valeurs sûres consiste à procéder à des essais en situation réelle, au moment de la mise en service du système, à l'aide d'une poire à fumée ou de tout autre appareil de mesure des courants d'air.

En prenant comme exemple le même local d'engraissement-finition des porcs – local qui comporte 36 pi (11 m) d'entrées d'air modulaires (16 entrées de 2,25 pi chacune) – et en fondant nos calculs sur des capacités de soufflage estimatives des ventilateurs, on détermine l'ouverture approximative des entrées d'air à prévoir à chaque palier de ventilation dans le local en question. Le tableau 5.4 qui suit donne les résultats de ces calculs.

Entrées d'air dans les bâtiments dotés d'une ventilation longitudinale

L'ouverture des panneaux ou rideaux d'entrée d'air des installations de ventilation longitudinale (ou en tunnel) est généralement réglée en fonction de la température de l'air ambiant, comme c'est le cas pour les panneaux des entrées d'air des murs latéraux. Les entrées d'air de la ventilation longitudinale s'ouvrent souvent en deux ou trois étapes ou paliers, à mesure que des ventilateurs supplémentaires sont appelés en renfort et que le débit d'air à travers le bâtiment augmente. Ces entrées sont manœuvrées de diverses façons – par un actionneur relié à des câbles, par un moteur électrique à entraînement direct muni d'un tube d'entraînement ou d'un engrenage à crémaillère –, selon des pourcentages d'ouverture préétablis, comme c'est le cas pour les entrées latérales. Le régulateur de ces systèmes comporte souvent des modules d'appoint pour commander l'ouverture des entrées d'air aménagées dans les murs d'extrémité du bâtiment.

Les entrées d'air latérales sont partiellement ou totalement fermées une fois que les entrées d'air d'extrémité sont ouvertes. La manœuvre est simple puisque l'ouverture des entrées d'air à chaque palier de ventilation est réglée par un programme visant chaque module indépendant de commande des entrées d'air. Le tableau 5.5 présente un exemple des valeurs d'ouverture des entrées d'air pour un poulailler de poulets à griller. Ce bâtiment est doté d'une ventilation transversale pour les trois saisons les plus froides de l'année et d'une ventilation longitudinale pour les mois d'été, lorsque les poulets ont atteint une certaine taille.

Tableau 5.5 Exemple des valeurs d'ouverture des entrées d'air pour un poulailler de poulets à griller de 60 pi x 300 pi recourant à la ventilation longitudinale en été lorsque les oiseaux ont atteint une certaine taille

Palier de ventilation	Ventilateurs d'extraction en marche	Débit d'air estimatif	Ouverture approximative des entrées d'air	
			Ventilation transversale[a]	Ventilation longitudinale[b]
Palier 1, min.	3 vent. de 24 po, vit. var., à 35 %[c]	4 500 pi³/min	1 %	0 %
Palier 1, max.	**3 vent. de 24 po, vit. var., à 100 %**	**15 000 pi³/min**	**7 %**	**0 %**
Palier 2, min.	Palier 1 et 4 vent. de 24 po, vit. var., à 35 %	21 000 pi³/min	10 %	0 %
Palier 2, max.	**Palier 1 et 4 vent. de 24 po, vit. var., à 100 %**	**35 000 pi³/min**	**18 %**	**0 %**
Palier 3	Paliers 1 et 2 et 3 vent. de 36 po	65 000 pi³/min	44 %	0 %
Palier 4	**Paliers 1, 2 et 3 et 1 vent. de 48 po[d]**	**85 000 pi³/min**	**65 %**	**0 %**
Palier 5, tunnel	4 vent. longitudinaux de 48 po[e]	80 000 pi³/min	20 %[f]	60 %
Palier 6, tunnel	**7 vent. longitudinaux de 48 po**	**140 000 pi³/min**	**40 %[f]**	**100 %**

[a]Données basées sur la configuration suivante : panneaux isolés de 12 po de largeur x 4 sections de 70 pi chacune, le bâtiment étant divisé en deux zones. Les prises d'air dans les murs latéraux peuvent s'ouvrir jusqu'à 8 po de largeur (= 100 %)

[b]L'entrée d'air destinée à la ventilation longitudinale est constituée d'une trappe en panneaux isolés qui fait 6 pi de hauteur et 52 pi de largeur et qui court sur toute la largeur d'un mur d'extrémité du bâtiment. La trappe est munie à sa partie basse d'un engrenage à crémaillère et d'un moteur électrique qui peut la déplacer sur une distance effective d'environ 4 pi, pour une superficie d'ouverture totale de 200 pi². Les sept ventilateurs d'extraction sont intégrés au mur d'extrémité opposé.

[c]Les ventilateurs de palier 1 devront tourner à des périodes limitées par minuterie pendant la première semaine de chaque cycle d'élevage parce qu'ils sont surdimensionnés.

[d]Le premier ventilateur assurant la ventilation longitudinale peut tourner en même temps que les ventilateurs du palier 4 de la ventilation transversale. La mise en œuvre de ce stade suppose qu'on devra bientôt passer à la ventilation longitudinale (en tunnel).

[e]Une fois que les ventilateurs du palier 1 de la ventilation en tunnel sont en marche, tous les ventilateurs des murs latéraux doivent s'arrêter dans un délai de 1-2 minutes.

[f]Les entrées d'air latérales peuvent être totalement fermées pour la ventilation de palier 5, à condition que l'ouverture de l'entrée d'air destinée à la ventilation en tunnel soit portée à 80 %. Toutefois, pour le palier 6, il faudra agrandir les ouvertures latérales et d'extrémité de façon que le courant d'air atteigne la vitesse de 500 pi/min (maximum).

Régulation par la pression statique

Certains régulateurs de ventilation comportent une fonction de régulation par mesure de la pression statique. Pour activer cette fonction, on programme dans le système un intervalle étroit de pressions statiques admissibles. Quand la pression statique du local monte au-dessus de l'intervalle prescrit – en raison d'une hausse du débit d'air –, les entrées d'air s'ouvrent suffisamment pour ramener la pression statique dans l'intervalle souhaité. À l'opposé, si le taux de renouvellement d'air baisse – parce qu'un palier de ventilation a été mis au repos – et que la pression statique descend sous l'intervalle admissible, l'actionneur à câbles fermera une partie de l'entrée d'air pour rétablir la pression statique au niveau prescrit. Les intervalles de pressions statiques normales recommandés sont présentés dans le tableau 5.6.

Tableau 5.6 Intervalles de pressions statiques recommandés pour la plupart des bâtiments d'élevage

Période de l'année	Intervalle de pressions statiques recommandés	
	(syst. impérial)	(syst. international)
Automne, hiver, printemps	0,06-0,08 po CE	1,5-2,0 mm
Par temps chaud	0,04-0,06 po CE	1,0-1,5 mm

On trouve encore sur le marché des régulateurs de pression statique autonomes qui n'exigent aucun lien avec le régulateur principal de ventilation, mais qui fonctionnent selon le même principe. Ils sont peu utilisés parce que leur grande sensibilité à la pression du vent extérieur entraîne souvent des erreurs dans l'ouverture des prises d'air – en trop ou en moins, selon que le vent crée une pression positive ou négative.

Certains petits locaux d'élevage comptent uniquement sur des dispositifs auto-réglables d'entrée d'air pour leur alimentation en air frais, à l'exclusion de tout système de commande. Le réglage de ces entrées dépend entièrement de la pression statique intérieure. Ils sont dotés de leviers lestés de contrepoids qui doivent être rajustés d'une saison à l'autre pour assurer une bonne circulation de l'air, en tenant compte de la variation des volumes d'air requis dans le bâtiment.

5.3.7 Options de commande des ventilateurs de recirculation et de refroidissement

On installe des ventilateurs de circulation de l'air dans de nombreux poulaillers et autres bâtiments d'élevage pour deux raisons principales :

- Dans des conditions de ventilation minimale, l'air devient frais et turbulent à certains endroits et chaud et étouffant à d'autres, en raison des inévitables problèmes d'ajustement des entrées d'air lorsqu'elles sont construites en longueur. Les ventilateurs de circulation mélangent l'air et éliminent les zones d'air froid et stagnant. Il faut toutefois se méfier des courants d'air que peuvent produire ces appareils et qui sont surtout nuisibles aux jeunes animaux (bétail et volaille) par temps froid.
- En été, le jet d'air des ventilateurs de circulation crée un effet rafraîchissant bénéfique au bétail et à la volaille. Pour plus d'information, voir le *chapitre 7 – Systèmes de refroidissement.*

Pour tirer le maximum d'avantages des ventilateurs de circulation, on les dotera d'une commande de variation de vitesse. Il existe des commandes manuelles (figure 5.9), que l'exploitant règle lui-même, et il y a des dispositifs automatiques qui modifient la vitesse des ventilateurs proportionnellement aux variations de la température ambiante.

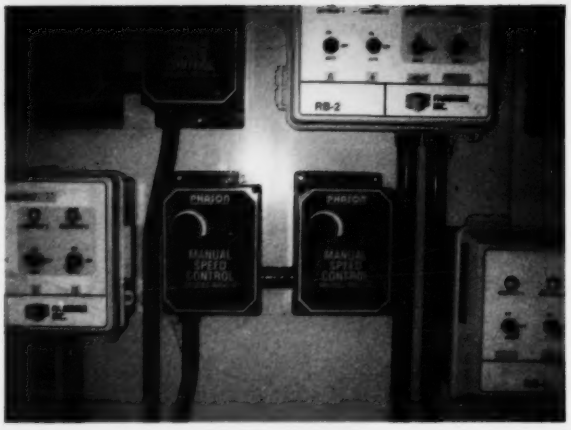


Figure 5.9 Commandes manuelles de variation de vitesse utilisées avec des ventilateurs de circulation intérieure

La plupart des ventilateurs de circulation sont régulés par une commande de variation de vitesse de type triac, mais certains fabricants lui préfèrent désormais des commandes fonctionnant par variation de fréquence, ou commandes VFD *(variable frequency drive).* Dans le cas des ventilateurs à faible vitesse et à fort volume, ou ventilateurs HVLS *(high volume low speed),* une commande VFD est obligatoire. Les commandes VFD présentées dans les figures 5.10a, 5.10b et 5.10c permettent une excellente maîtrise de la vitesse et un rendement stable, notamment si on les compare à des commandes de type triac.

Figure 5.10a Commande VFD d'un ventilateur mural

Figure 5.10b Panneau de commande VFD pour des ventilateurs HVLS dans une étable laitière

Figure 5.10c Panneau de commande VFD

Source : Bridget Cleary, Clearydale Farms, Spencerville (Ontario).

5.3.8 Commandes d'appareils de refroidissement et de captage des poussières à l'eau

De nombreuses fermes d'élevage utilisent des systèmes de refroidissement à l'eau. Le type de système de refroidissement détermine les caractéristiques des commandes à utiliser.

Brumisation haute pression et refroidissement par évaporation (avec tapis humide)

Ces fonctions exigent que le système soit intégré au régulateur de ventilation principal. Lorsque la température du local dépasse un certain seuil, l'alimentation en eau du brumisateur est ouverte pendant au moins 1 minute, puis fermée jusqu'à 20 minutes. Si la température continue de s'élever, le cycle de refroidissement s'accélère : la brumisation est activée 5 minutes puis s'arrête 5 minutes. Certains régulateurs prévoient en même temps une réduction du nombre de ventilateurs en marche, pour économiser l'énergie et l'eau.

Appareil d'aspersion basse pression

Ce type d'appareil peut être intégré au régulateur principal ou relever d'un dispositif de commande complètement distinct. La deuxième configuration (figure 5.11) est particulièrement indiquée pour les systèmes de refroidissement multiples desservant plusieurs locaux. Si tous les appareils de refroidissement fonctionnent en même temps, il peut s'ensuivre une baisse importante de la pression d'eau à l'origine de graves problèmes avec le système de refroidissement et l'alimentation des abreuvoirs. Un dispositif distinct a ceci d'avantageux qu'il peut commander plusieurs zones et être programmé de façon à ne pas les alimenter toutes en même temps. Les durées de fonctionnement varient en fonction de l'usage qu'on fait du système d'aspersion et de la température de l'air ambiant dans le local.

Dans les locaux refroidis par brumisation, il faut prendre garde de tremper la litière ou l'aire de couchage des animaux. L'apport supplémentaire d'humidité aura pour effet d'accélérer la décomposition du fumier et d'augmenter les émanations de gaz ammoniac, entraînant une détérioration de la qualité de l'air. Aucun système de brumisation n'est autorisé à fonctionner si l'humidité relative dans le local dépasse 80 % (les animaux doivent pouvoir continuer d'évacuer l'excès de chaleur corporelle interne en respirant). Certains régulateurs dotés de capteurs d'humidité peuvent être programmés de manière à bloquer la brumisation si l'humidité du local est trop élevée.

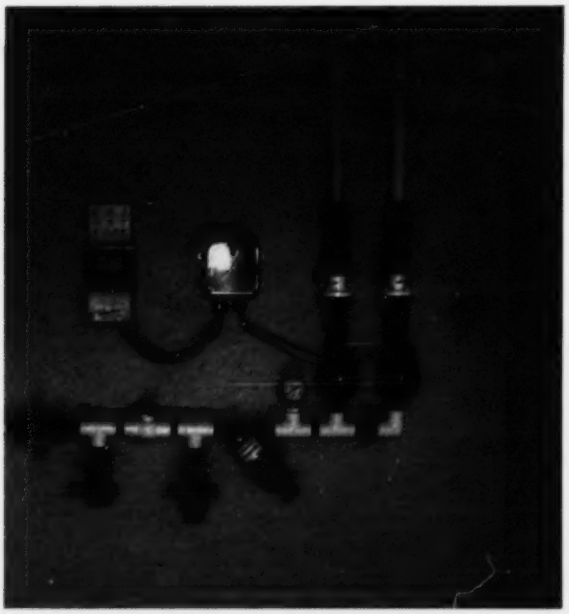


Figure 5.11 Dispositif de commande d'un système de refroidissement à l'eau

5.3.9 Autres fonctions du régulateur de ventilation

Minuterie

Tous les régulateurs électroniques de ventilation possèdent une fonction minuterie pour gérer efficacement les ventilateurs d'extraction au premier palier de ventilation. Cette fonction permet aussi de programmer un fonctionnement intermittent des ventilateurs – plutôt que continu ou à l'arrêt complet – lorsque la température du local tombe sous la température de consigne principale. Elle est également utile lorsque le ou les ventilateurs de palier 1 sont surdimensionnés ou si le local n'est que partiellement occupé. On peut enfin utiliser la minuterie pour programmer la ventilation par intermittence des bâtiments lorsqu'ils sont inoccupés entre deux cycles d'élevage.

Durée de fonctionnement du chauffage

Certains régulateurs font le cumul des durées de fonctionnement du chauffage. C'est une façon commode pour l'exploitant de déterminer si son système de chauffage est assez puissant et d'en suivre la performance dans le temps.

Thermostat de secours

Les régulateurs de ventilation électroniques sont dotés d'une sortie de secours qui permet de contourner le circuit principal de l'appareil en cas de défaillance d'un module interne. On peut alors, par le biais d'un thermostat électromécanique simple, activer un ou plusieurs ventilateurs d'extraction pour assurer un minimum de ventilation et une régulation sommaire de la température, jusqu'à ce que le module défectueux soit remplacé. Le thermostat électromécanique est relié par fil au(x) ventilateur(s) du palier 2 et est réglé quelques degrés au-dessus de la température de consigne principale programmée dans le régulateur de base. Dans les locaux où se pratique la conduite en bande, le thermostat de secours devra être rajusté périodiquement pour suivre la baisse de la température de consigne programmée à l'origine dans le régulateur principal.

Le type le plus courant de thermostat électromécanique utilisé en agriculture (figure 5.12) fonctionne sur le principe de l'expansion ou de la contraction d'un fluide (gaz ou liquide) qui réagit à des changements de température à l'intérieur d'un petit serpentin. La dilatation du fluide provoque la fermeture d'un interrupteur et l'alimentation en électricité d'un ventilateur. La contraction du fluide consécutive à une baisse de température provoque l'ouverture de l'interrupteur et l'arrêt du ventilateur.

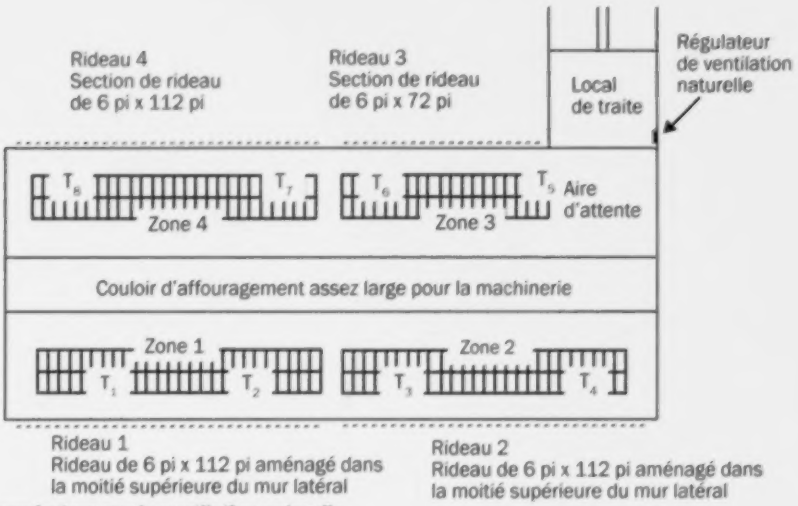
Figure 5.12 Thermostat électromécanique de secours

5.3.10 Fonctions d'un régulateur de ventilation naturelle

Une étable laitière à stabulation libre sert ici d'exemple pour expliquer les diverses fonctions et principes de fonctionnement d'un régulateur de ventilation naturelle. La figure 5.13 présente le plan d'une étable à stabulation libre de 100 pi de largeur sur 240 pi de longueur (30,4 m x 73,1 m). Les murs latéraux ont 12 pi (3,6 m) de hauteur et sont dotés de rideaux que le régulateur ouvre et ferme en fonction de la température et qui couvrent les 6 pi (1,8 m) supérieurs de chaque mur. La partie inférieure de ces murs comporte un rideau à enroulement manuel que l'exploitant ouvre au besoin pour obtenir un supplément de ventilation en été. Le bâtiment est aussi muni, le long du faîte, de cheminées de ventilation naturelle, que l'exploitant ouvre et ferme au moyen d'un treuil manuel. Aux fins de la ventilation, le bâtiment est séparé en deux zones à la fois dans le sens de sa longueur et dans le sens de sa largeur.

5.3.11 Déplacements à durée déterminée des rideaux en fonction de la température

La programmation de la plupart des modèles de base de régulateurs de ventilation naturelle se fait généralement en donnant au système une température de consigne principale et un léger différentiel, ces deux valeurs définissant l'intervalle de base des températures dans le local ou le bâtiment. Par exemple, en fixant une température de consigne principale de 7,0 °C pour les saisons d'automne, d'hiver et de printemps, avec un différentiel de 1,5 °C, on vise une température interne oscillant entre 5,5 et 8,5 °C. Si la température du local



Régulation de la température par la ventilation naturelle

Le rideau 1 s'ouvre et se ferme pour une durée déterminée si la moyenne des températures des capteurs T_1 et T_2 se situe à l'extérieur de l'intervalle prescrit

Le rideau 2 s'ouvre et se ferme pour une durée déterminée si la moyenne des températures des capteurs T_3 et T_4 se situe à l'extérieur de l'intervalle prescrit

Le rideau 3 s'ouvre et se ferme pour une durée déterminée si la moyenne des températures des capteurs T_5 et T_6 se situe à l'extérieur de l'intervalle prescrit

Le rideau 4 s'ouvre et se ferme pour une durée déterminée si la moyenne des températures des capteurs T_7 et T_8 se situe à l'extérieur de l'intervalle prescrit

Cheminées de ventilation naturelle (manœuvrées au moyen d'un treuil manuel) = fermées si la température extérieure < 0 °C
= de 20 à 40 % ouvertes si la température ext. est comprise entre 0 et 10 °C
= à 100 % ouvertes si la température ext. dépasse régulièrement 10 °C

Les rideaux à enroulement manuel de trois pieds de hauteur à la base des murs latéraux sont ouverts au besoin en été

Figure 5.13 Plan d'une étable laitière à stabulation libre montrant la disposition générale des lieux, avec les rideaux de ventilation et les capteurs de température

dépasse la limite de 8,5 °C, l'actionneur mécanique des rideaux interviendra et ouvrira ceux-ci dans une proportion et pour une durée déterminées d'avance, de façon à laisser entrer plus d'air frais. La durée d'ouverture pourra varier de 5 à 20 secondes selon le temps de l'année et le taux de déplacement maximal du câble de l'actionneur. Par temps froid, le déplacement des rideaux ne devrait pas dépasser 0,4 po (10 mm); autrement, on risque de laisser entrer une trop grande masse d'air froid et d'exposer ainsi les animaux à un refroidissement brusque. Par temps plus doux, les déplacements des rideaux peuvent normalement atteindre environ 1,5 po (38 mm).

Comme la ventilation naturelle est plus lente que la ventilation mécanique, le programme du régulateur prévoit un temps d'arrêt après un déplacement du rideau pour éviter d'autres mouvements avant que le capteur de température n'ait eu le temps de s'ajuster au nouvel état de l'air ambiant. Ce temps d'arrêt varie de 2 à 3 minutes (120 à 180 secondes), la période la plus courte valant surtout pour la saison froide et la plus longue pour les périodes plus clémentes.

Dans le présent exemple, si la température ambiante descend sous le seuil de 5,5 °C, l'actionneur commande la fermeture du rideau pendant une durée déterminée, de manière à réduire les ouvertures et à freiner la pénétration du froid. Le temps de fermeture est fixé à une valeur de 30 % supérieure au temps d'ouverture, ce qui réduit la durée d'exposition au froid et la durée ainsi que le nombre des épisodes de fermeture complète du rideau. À titre d'exemple, si le temps d'ouverture était de 6 secondes, le temps de fermeture serait fixé à 8 secondes.

5.3.12 Déplacements des rideaux en fonction de la température, selon un différentiel préétabli

La formule n'est pas très répandue, mais quelques modèles de régulateurs de ventilation naturelle gèrent l'ouverture des panneaux ou rideaux de ventilation en fonction d'un différentiel thermique préétabli. Dans ce système, on fixe les degrés ou niveaux d'ouverture des panneaux qui correspondent à la ventilation minimale et maximale du bâtiment, puis on définit par programme l'écart (le différentiel) de température qui fera varier linéairement le degré d'ouverture des panneaux entre ces deux extrêmes. Par exemple, on peut fixer l'ouverture minimale des panneaux à 2 % lorsque la température ambiante du local est à la température de consigne principale, puis relever ce pourcentage de façon linéaire jusqu'à 100 % au moment où la température aura comblé un différentiel donné, par exemple, de 6 à 7 °C. Les rideaux ou panneaux se fermeront complètement dès que la température ambiante aura chuté sous la température de consigne principale. Dans ce type de régulateur comme dans tous les autres, il faudra ajuster certains réglages et différentiels selon le temps de l'année et l'espèce et la taille des animaux élevés dans le bâtiment.

5.3.13 Option de chauffage d'appoint

Les étables laitières à stabulation libre sont rarement chauffées, mais il peut être nécessaire d'avoir une source de chaleur quelconque dans un local de traite ventilé naturellement. Les bâtiments à ventilation naturelle abritant des veaux, de la volaille ou des porcs doivent obligatoirement avoir une installation de chauffage qui sera régie par le régulateur de ventilation.

Comme c'est le cas pour tous les bâtiments dotés d'un régulateur de ventilation, une baisse progressive de la température ambiante fera démarrer le chauffage, de façon à éviter un refroidissement excessif affectant aussi bien les animaux que les travailleurs. L'appareil de chauffage sera mis en marche à une température inférieure à la température de consigne principale et s'arrêtera une fois que la température ambiante se sera relevée jusqu'à combler le différentiel de température assigné au système. Par exemple, étant donné une température de consigne relative pour le chauffage de -2 °, un différentiel de température de 1,0 °C et une température de consigne principale de 7,0 °C, on verra le système de chauffage démarrer à 5,0 °C et s'arrêter à 6,0 °C.

Certains régulateurs de ventilation gèrent le chauffage en fonction d'un décalage de la température de consigne relative pour le chauffage et d'un différentiel de température pour le chauffage, plutôt qu'à partir d'une température de consigne relative pour le chauffage. En

vertu de cette stratégie, le chauffage se met en marche une fois que la température ambiante descend d'une valeur égale à la somme du décalage et du différentiel de température. Il s'arrête une fois que la température du local a remonté et comblé le différentiel et le décalage de la température relative. Dans le présent exemple, le chauffage réagit de la même façon à l'une ou à l'autre stratégie de gestion. Le décalage de la température relative pour le chauffage étant de -1,0 °C et le différentiel de température pour le chauffage, de 1,0 °C, la chauffage démarre lorsque la température ambiante descend à 2,0 °C (-1,0 °C -1,0 °C) sous la température de consigne principale et s'arrête à 1 °C sous cette même température (figure 5.14).

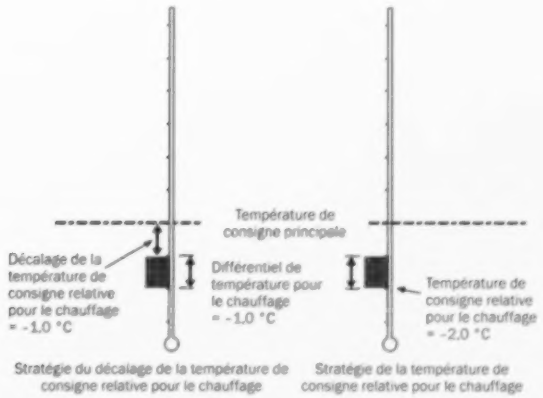


Figure 5.14 Deux stratégies de gestion du chauffage

5.3.14 Réglages du régulateur de ventilation naturelle

Le tableau 5.7 présente le résumé des paramètres de fonctionnement d'un régulateur principal de ventilation naturelle, pour l'été et pour l'hiver. Ces valeurs conviennent à une ferme laitière, mais non à des élevages d'animaux plus fragiles. Les temps d'ouverture et de fermeture doivent être rajustés en fonction des conditions locales, pour qu'on obtienne les déplacements de rideaux souhaités à chaque cycle.

Tableau 5.7 Valeurs types programmées dans un modèle de base de régulateur de ventilation naturelle, pour une exploitation laitière

Paramètres de ventilation	Temps froid	Temps chaud
Température de consigne principale	3,0 °C	18,0 °C
Différentiel de température ambiante	± 1,0	± 2,0
Temps d'ouverture du rideau	6 secondes	25 secondes
Temps de fermeture du rideau	8 secondes	33 secondes
Temps d'arrêt du système	120 secondes	180 secondes
Température de consigne relative pour le chauffage	s/o	s/o
Différentiel de température pour le chauffage	s/o	s/o

5.4 Alimentation électrique de secours

Toute bâtiment qui abrite des animaux a besoin d'un système de ventilation, lequel exige un approvisionnement fiable en énergie électrique. En cas de panne – qu'elle soit due aux orages, à la foudre ou à la rupture du réseau de distribution électrique à la suite d'un accident routier –, la ferme doit pouvoir compter sur une source d'énergie de secours. Il faudra au minimum disposer d'une génératrice portative entraînée par la prise de force du tracteur, du câblage nécessaire au raccordement à l'installation de ventilation et d'un commutateur de transfert qui isole l'installation d'urgence du réseau afin d'en assurer la sécurité. Les grandes fermes d'élevage seront mieux protégées par une génératrice fixe qui démarre automatiquement en cas de panne.

5.5 Système d'alarme indépendant

La plupart des régulateurs de ventilation possèdent une fonction d'alarme intégrée, mais il vaut mieux se fier à un système d'alarme distinct comportant ses propres capteurs de température (figure 5.15). On écartera ainsi toute possibilité que l'alarme soit déclenchée par un appareil défectueux.

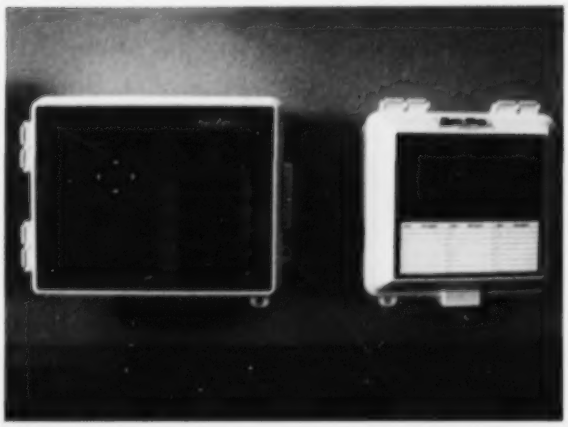


Figure 5.15 Système d'alarme distinct du régulateur de ventilation principal

Autre avantage d'un système d'alarme indépendant : l'exploitant sera prévenu plus rapidement du déclenchement d'une panne de courant et disposera ainsi de plus de temps pour rétablir le courant à l'aide de son matériel d'urgence et remettre en marche le système de ventilation pour protéger ses animaux.

Chaque local d'élevage d'une largeur inférieure à 66 pi (20 m) doit comporter au moins un capteur de température qui sera relié au système d'alarme indépendant, mais qui n'aura aucun lien avec le régulateur de ventilation principal. Si le local a moins de 200 pi (60 m) de longueur, utiliser au moins un capteur de température, de préférence deux. À titre indicatif, on pourra ajouter un capteur indépendant de plus pour chaque longueur supplémentaire de 100 pi (30 m) de bâtiment. Les capteurs doivent être suspendus à mi-hauteur du local. Les températures d'alarme ne doivent pas dépasser 10 % en plus et 10 % en moins de l'intervalle normal des températures confortables pour les animaux.

Les capteurs de température reliés au régulateur du système de ventilation seront utilisés comme capteurs d'appoint, à condition que le régulateur possède un relais d'alarme indépendant. Le relais doit pouvoir envoyer un signal à un système d'alarme dès que la température de l'air ambiant s'écarte de la plage comprise entre les réglages d'alarme haute et basse températures.

Table des matières

6. Systèmes de chauffage 123

6.1 Introduction 123
6.2 Température critique inférieure 124
6.3 Sources d'énergie 124
6.3.1 Propane et gaz naturel 125
6.3.2 Électricité 127
6.3.3 Mazout 127
6.3.4 Sources d'énergie renouvelables – Géothermie, solaire et biomasse 127
6.3.5 Coûts comparatifs des sources d'énergie pour le chauffage 130
6.4 Types de systèmes de chauffage 133
6.4.1 Chauffage par rayonnement 134
6.4.2 Chauffage des locaux par convection 137
6.5 Régulation du chauffage 146
6.6 Dimensionnement des appareils de chauffage pour divers types d'élevage 146
6.6.1 Tables de T pour le chauffage 147
6.6.2 Exemple de calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique recommandée pour une porcherie d'engraissement-finition 147
6.6.3 Analyse par programme informatique 148
6.6.4 Avertissement de surchauffe 150

6. Systèmes de chauffage

6.1 Introduction

Tous les systèmes de ventilation fonctionnent selon le principe de l'équilibre thermique. Ainsi, pour qu'un environnement demeure sain, il doit y avoir un équilibre entre les gains thermiques et les pertes thermiques, c.-à-d. entre la chaleur produite par les animaux et celle qui est perdue par l'enveloppe du bâtiment et le système de ventilation. Lorsque le bilan thermique est négatif, un apport de chaleur est requis pour éviter que la température ambiante ne diminue trop ou que le système de ventilation ne s'arrête.

De nombreux bâtiments d'élevage pour le bétail et la volaille nécessitent un apport de chaleur pendant l'hiver. Les animaux sensibles comme les jeunes oiseaux et les jeunes porcs ont besoin de chauffage à longueur d'année. Le chauffage des bâtiments d'élevage permet de s'assurer que les animaux sont maintenus au-dessus de leur température critique inférieure (TCI) et d'éviter qu'ils consomment un surplus d'aliments pour conserver leur chaleur. On ne peut pas se fier uniquement à la température du local pour s'assurer que les animaux sont maintenus au-dessus de leur TCI. D'autres facteurs doivent être pris en considération, dont le type de plancher, le degré d'isolation et le rendement mécanique du système de ventilation.

Les installations de chauffage par convection servent à chauffer un local ou un bâtiment complet, tandis que les installations de chauffage par rayonnement sont utilisées pour en chauffer une partie (p. ex. coins à porcelets d'une case de parturition ou enclos individuels d'une pouponnière à veaux). Le choix du système de chauffage a une incidence majeure sur les méthodes de gestion. Par exemple, quand on remplace des tubes rayonnants au gaz par un système à chauffage direct et à air pulsé, on doit accroître la température ambiante du local pour compenser le phénomène de l'air plus chaud au plafond et plus frais au niveau du plancher, là où se trouvent les animaux.

Trois types de transfert de chaleur permettent de fournir de la chaleur au bétail et à la volaille.

Convection

La convection est le transfert de chaleur entre l'animal et l'air ambiant qui résulte du mouvement de l'air. L'air calme possède un coefficient de transfert thermique moins élevé que l'air agité. La température de l'air ambiant a beaucoup d'importance, car elle est intimement liée au confort de l'animal.

Rayonnement

Le rayonnement suppose un échange d'énergie thermique par l'émission d'ondes électromagnétiques. L'énergie thermique du soleil est transférée de cette façon. Il en est de même entre un animal et son environnement qui se transmettent continuellement de la chaleur de l'un à l'autre. La chaleur rayonnante produite par un animal dans un local un peu frais est une façon souhaitable de se débarrasser d'un surplus d'énergie thermique. Ce ne l'est pas cependant si l'animal dégage de l'énergie thermique en trop grande quantité à l'intérieur d'un bâtiment froid et non isolé.

On compte parmi les sources de rayonnement :

- le soleil dont les rayons atteignent directement les animaux en plein air, en l'absence d'ombrage;
- les autres animaux à proximité immédiate – p. ex. dans l'aire d'attente remplie à capacité à proximité d'une salle de traite ou dans les enclos où sont entassés les porcs de finition avant leur expédition;
- les éléments qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment (enclos, distributeurs d'aliments, planchers, etc.) qui, lorsque l'air s'échauffe sous l'effet d'une élévation des températures, s'échauffent également;
- Le plafond/toit et les murs qui, s'ils sont mal isolés, voient leur température diminuer et parfois chuter sous la température ambiante pendant la nuit sous l'effet de corps noir, c.-à-d. l'effet du rayonnement thermique, vers l'espace, de la surface d'un corps

au sol, effet qui abaisse la température à l'intérieur du corps en dessous de la température ambiante. L'isolation adéquate du toit ou du plafond, combinée à un toit blanc, minimise cet effet.

Conduction

La conduction thermique est le transfert de chaleur qui se produit au contact de deux corps de températures différentes. On observe ce phénomène lorsqu'une vache ou un porc est couché sur du béton et que la chaleur de son corps se transmet au béton plus frais.

Lorsque la surface où est couché un animal se réchauffe trop, l'animal a trop chaud. Ainsi, en est-il de la litière pour volailles, qui génère de la chaleur et conserve la chaleur. Si cela est souhaitable pendant l'hiver, il reste que, pendant l'été, cette litière devient inconfortable, parce que trop chaude.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Un toit enduit de peinture céramique réduit les gains thermiques durant l'été et les pertes thermiques hivernales dues à l'effet de corps noir.

6.2 Température critique inférieure

Lorsque la température chute sous la température optimale et se rapproche de la température critique inférieure (TCI), l'animal a besoin de consommer davantage d'aliments pour conserver sa chaleur. À l'atteinte de la TCI, tous les aliments consommés par les animaux leur servent à conserver leur chaleur. Les risques que les animaux deviennent malades sont alors plus élevés. Pour connaître la TCI de divers animaux d'élevage, se reporter à la figure 6.1. Recourir au chauffage d'appoint pour empêcher que la température ne tombe sous le seuil de la zone thermoneutre des animaux et ne jamais permettre l'atteinte de la TCI.

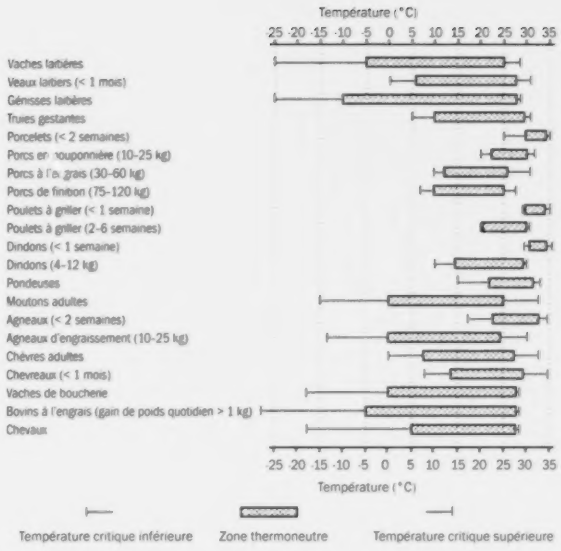


Figure 6.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure

Source : American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. *Handbook : Heating, Ventilating and Air Conditioning Applications*, chapitre 22, 2007.

Si l'on veut maintenir le niveau de confort, l'indice de consommation et la productivité en général des animaux, aucun aspect du système de chauffage d'un bâtiment d'élevage ne doit être négligé. Il faut :

- s'assurer que le niveau d'isolation est adéquat et minimiser les fuites d'air;
- concevoir et gérer les entrées d'air d'une manière qui permet de réduire les courants d'air;
- fournir un système de chauffage bien dimensionné;
- régler le système à la fourchette de températures appropriée au moyen de ventilateurs, d'appareils de chauffage et d'entrées d'air interreliés.

6.3 Sources d'énergie

Le choix d'un système de chauffage par le producteur dépend des sources d'énergie auxquelles il a accès dans sa région. Avec l'accroissement des coûts de l'énergie, il est de plus en plus important pour lui choisir la meilleure source d'énergie qui soit.

Voici les principales sources d'énergie utilisées à la ferme :

- le propane (gaz de pétrole liquéfié ou GPL) et le gaz naturel;
- l'électricité;
- le mazout;
- les sources d'énergie renouvelables (biomasse, énergie solaire, énergie géothermique, etc.)

6.3.1 Propane et gaz naturel

Le propane et le gaz naturel sont de nature semblable et sont traités de façon identique dans la présente section. Lorsqu'il est disponible, le gaz naturel a tendance à être la source d'énergie la plus économique pour le chauffage. Certains systèmes de chauffage au propane peuvent être convertis au gaz naturel. Cette conversion s'effectue en changeant l'orifice du brûleur, le régulateur de pression et certains tuyaux de gaz.

Le gaz naturel est un combustible déréglementé, ce qui signifie qu'il peut être acheté selon un contrat à prix fixe ou selon le cours au comptant. Les contrats à prix fixe permettent de se prémunir contre la volatilité des prix. Le propane est également un combustible déréglementé, mais, à ce jour, les possibilités de contrats d'achat sont plutôt restreintes.

Trois types de systèmes de chauffage sont utilisés avec le propane et le gaz naturel :

- les systèmes par convection à chauffage direct et à air pulsé;
- les systèmes par rayonnement – éleveuses au gaz ou longs tubes alimentés au gaz;
- les systèmes à eau chaude (chaudières) – radiateurs, tubes à ailettes, tubes ou tuyaux pour planchers chauffants.

Les systèmes au gaz génèrent des produits de combustion qui sont principalement constitués de dioxyde de carbone et d'eau, mais ces produits peuvent inclure d'autres gaz comme le monoxyde de carbone et des hydrocarbures non brûlés. Un entretien soigné est nécessaire si l'on veut s'assurer que ces systèmes de chauffage brûlent les gaz de manière efficace et sécuritaire. En l'absence d'entretien, la production de gaz toxiques augmente et compromet la qualité de l'air ambiant, ce qui peut entraîner des problèmes de santé, voire la mort.

Conformément au Code d'installation du gaz naturel (norme nationale du Canada CAN/CSA-B149.1) préparé par l'Association canadienne du gaz et plus précisément à ses articles 6.20, Générateurs de ventilation tempérée à chauffage direct, et 6.21, Panneaux radiants, les systèmes alimentés au gaz peuvent être du type non ventilé, ce qui suppose l'évacuation directe des gaz de combustion dans le bâtiment. Le Code d'installation du gaz naturel exige un apport d'air frais continuel à un taux de renouvellement d'air de 4 pi^3/min par tranche de 1 000 BTU/h (débit calorifique nominal) lorsque le système de chauffage est en marche. Un interrupteur-capteur d'air doit être installé sur le ventilateur assurant la ventilation minimale et être relié au bloc d'alimentation de l'installation de chauffage au gaz. Si le ventilateur n'évacue par l'air à l'extérieur pour une raison ou une autre, l'interrupteur-capteur d'air s'ouvre et coupe l'alimentation du système de chauffage au gaz naturel. Ce système de protection assure un apport continu d'air comburant. Les éleveuses au gaz, les tubes rayonnants haute intensité, les appareils à air pulsé en forme de boîtes carrées (aérothermes) alimentés au gaz sont autant de sources de chaleur non ventilées. Les tubes rayonnants à infrarouges basse intensité peuvent être du type ventilé ou non ventilé. La figure 6.2 montre l'alimentation en air frais d'un tube rayonnant ainsi que le conduit par lequel s'échappent les gaz de combustion.

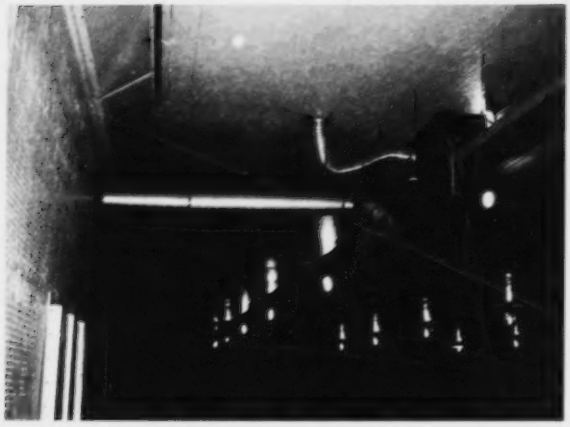


Figure 6.2 Conduit d'évacuation d'un tube rayonnant

Remarque : Des distances de séparation minimale sont requises entre les sorties d'air des tubes rayonnants et les entrées d'air du bâtiment d'élevage pour empêcher les gaz évacués de contaminer l'air entrant. Ces appareils doivent être installés suivant les directives du fabricant et en conformité avec le *Code d'installation du gaz naturel.*

L'air d'un bâtiment d'élevage contient de nombreux contaminants – matières fécales, poussières, humidité, ammoniac et sulfure d'hydrogène. Ces contaminants créent une atmosphère corrosive qui détériore rapidement de nombreux composants d'un système de chauffage. Des niveaux accrus d'entretien et de contrôle de sécurité sont requis pour assurer le fonctionnement approprié des systèmes de chauffage installés dans les bâtiments d'élevage, surtout lorsque l'air qu'il contient sert de source d'air de combustion.

L'avantage des appareils non ventilés est le suivant : toute l'énergie calorifique disponible est utilisée dans le local et aucune chaleur ne sort par une cheminée et ne se perd. Leur inconvénient est que l'air de combustion contient du dioxyde de carbone (CO_2), de l'humidité et des concentrations d'oxygène réduites. Il faut un taux de renouvellement d'air supérieur dans le local/bâtiment d'élevage pour s'assurer que le CO_2, l'humidité et l'oxygène sont maintenus à des niveaux acceptables. La puissance de l'appareil de chauffage et la quantité d'air nécessaire à son fonctionnement jouent un rôle dans la détermination du taux de renouvellement d'air additionnel requis pour assurer une qualité d'air convenable.

Les producteurs peuvent croire qu'évacuer les gaz de combustion à l'extérieur est un gaspillage, mais la quantité de chaleur associée aux gaz évacués est très faible. Une recherche financée par Union Gas (*Vented vs. Unvented Infrared Heating Systems for Broilers* [étude comparative des systèmes de chauffage à infrarouges ventilés et non ventilés], American Society of Agricultural Engineers ASAE Paper 02-4220, 2002) a montré par une analyse coûts-avantages qu'il est peu avantageux au net d'évacuer les gaz de combustion à l'intérieur d'un bâtiment.

On a surveillé la consommation d'énergie pour deux poulaillers identiques de 60 pi x 400 pi (18 m x 122 m) à un seul niveau, et ce, pour trois lots consécutifs de poulets à griller. Environ 25 000 oiseaux étaient logés dans chaque poulailler pour chaque lot. Pout tous les lots, le poulailler ventilé a utilisé une plus grande quantité de gaz que le poulailler non ventilé. On a calculé que les coûts de chauffage par temps froid étaient d'environ 0,03 $/kg plus élevés pour le poulailler ventilé que pour le poulailler non ventilé. Cependant, le taux de mortalité et de condamnation pour les trois lots combinés a été de 1,7 % plus élevé pour le poulailler non ventilé que pour le poulailler ventilé. La condition physique des oiseaux logés dans le bâtiment ventilé était également meilleure que celle des oiseaux logés dans le bâtiment non ventilé en raison de la meilleure qualité de l'air.

Le chauffage par convection ou par rayonnement au gaz comporte des avantages et des inconvénients.

Propane – Gaz naturel	
Avantages	**Inconvénients**
• faibles coûts d'achat et d'installation des appareils; • combustible très peu polluant; • coût du gaz naturel traditionnellement le moins élevé de tous les combustibles; • possibilité d'obtenir des contrats à prix fixe.	• coûts de raccordement et d'entretien élevés; • danger associé aux fuites de gaz, d'où l'importance de l'entretien; • approvisionnement de la ferme en gaz naturel parfois problématique; • entretien périodique des appareils de chauffage indispensable en raison de la nature corrosive de l'environnement du bâtiment d'élevage.

6.3.2 Électricité

Le chauffage à l'électricité est utilisé pour fournir une chaleur par convection ou par rayonnement. En Ontario, l'électricité a tendance à être la source d'énergie pour le chauffage la plus coûteuse, du fait des coûts élevés liés à l'installation d'un panneau électrique et au câblage d'un réseau apte à répondre aux besoins de chauffage d'un grand bâtiment d'élevage.

Une installation de chauffage alimentée à l'électricité peut comprendre :

- des appareils de chauffage par convection à air pulsé (uniquement dans les lieux approuvés; jamais dans les locaux abritant des animaux);
- des plinthes électriques (uniquement dans les lieux approuvés; jamais dans les locaux abritant des animaux);
- des lampes chauffantes;
- des coussins chauffants;
- des tubes de quartz rayonnants;
- des câbles chauffants;
- une installation de chauffage hydronique (chaudière).

Le chauffage à l'électricité par convection ou par rayonnement comporte des avantages et des inconvénients.

Chauffage électrique	
Avantages	**Inconvénients**
• faible coût d'achat, d'installation et d'entretien des appareils; • forme de chaleur propre et sèche; • efficacité énergétique de 100 %; • régulation simple et efficace; • chauffage par paliers facilement mis en œuvre; • programme d'incitatifs disponibles pour l'amélioration de l'efficacité énergétique; • contrats pouvant offrir une protection d'un prix fixe allant jusqu'à 5 ans; • bonne source de chaleur temporaire.	• coût de l'électricité relativement élevé comparativement à celui des autres sources d'énergie; • coût très élevé du panneau électrique et du câblage; • entretien indispensable pour réduire les risques d'incendie et éviter la détérioration des connexions et des composants électriques.

6.3.3 Mazout

Les systèmes de chauffage au mazout sont rarement utilisés dans les fermes de l'Ontario. Ces systèmes sont moins éconergétiques et exigent plus d'entretien que les systèmes au gaz ou au propane. Ces systèmes doivent être ventilés, ce qui signifie que seules des chaudières peuvent être utilisées – les fournaises à air pulsé conçues pour un usage résidentiel ne conviennent pas aux conditions difficiles présentes dans un bâtiment d'élevage.

Le producteur qui choisit le chauffage au mazout doit s'assurer que le système est aussi efficace que possible sur le plan énergétique et le concevoir soigneusement pour s'assurer de son rendement optimal.

Le chauffage au mazout comporte des avantages et des inconvénients.

Mazout	
Avantages	**Inconvénients**
• facilité d'approvisionnement partout en Ontario.	• évacuation des gaz à l'extérieur; • moins bon rendement; • exige plus d'entretien.

6.3.4 Sources d'énergie renouvelables – Géothermie, solaire et biomasse

D'autres systèmes sont utilisés pour chauffer les bâtiments d'élevage. Chacun a ses propres avantages et inconvénients.

Géothermie

La géothermie n'est pas une source d'énergie directe. Elle utilise l'énergie électrique pour pomper la chaleur (d'où le nom thermopompe) depuis une source d'eau à proximité (étang, lac ou rivière), le sol lui-même ou une source d'eau souterraine (d'une température d'environ 3-10 °C) pour chauffer l'air d'un local à une température d'environ 35 °C. Les réfrigérateurs et les climatiseurs fonctionnent selon le même principe. Une thermopompe est un réfrigérateur sans boîtier isotherme. Elle utilise l'évaporation d'un réfrigérant, comme le fréon, ou ses substituts plus récents, pour assurer un refroidissement. Le cycle d'évaporation du réfrigérant est le même pour un réfrigérateur et une thermopompe.

La figure 6.3 illustre le cycle d'évaporation dans une thermopompe.

1. Le compresseur comprime le gaz réfrigérant frais, qui devient un gaz chaud à haute pression (rouge dans le diagramme).
2. Ce gaz chaud circule dans un ensemble de serpentins, à l'intérieur de la fournaise, où :
   a. un ventilateur souffle l'air repris dans la maison à travers l'appareil pour dissiper la chaleur du gaz et le condenser sous une forme liquide;
   b. ce liquide est pompé dans une série de tuyaux dans le plancher, où il réchauffe le bâtiment.
3. Le liquide réfrigérant passe dans un détendeur et s'évapore jusqu'à ce qu'il devienne un gaz réfrigérant froid à faible pression (bleu clair dans le diagramme).
4. Ce gaz froid circule dans un ensemble de serpentins, où il absorbe de la chaleur. À l'autre extrémité des serpentins, un liquide contenant de l'antigel descend par un circuit en boucle dans le sol ou dans une source d'eau où il absorbe plus de chaleur.
5. Une petite quantité de mazout léger est mélangée au liquide réfrigérant de manière à lubrifier le compresseur.

Figure 6.3 Illustration du fonctionnement d'une thermopompe

Plus couramment utilisées pour chauffer et rafraîchir les résidences (figure 6.4), les thermopompes sont mises à profit dans de nombreuses applications agricoles, allant de l'extraction de la chaleur de l'air évacué des étables laitières pour chauffer une maison adjacente jusqu'au recours à un système d'extraction de la chaleur du sol pour chauffer le plancher d'un poulailler.

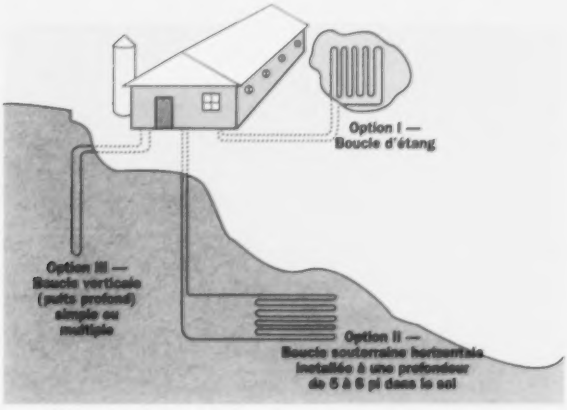


Figure 6.4 Trois types de boucles souterraines utilisées par les thermopompes pour extraire la chaleur du sol

Les systèmes géothermiques comportent des avantages et des inconvénients.

Géothermie	
Avantages	**Inconvénients**
• source d'énergie renouvelable; • faibles coûts d'exploitation possibles; • source d'énergie pour chauffer l'eau domestique et les locaux; • accès possible à des programmes d'incitatifs.	• coût élevé en capital pour l'installation électrique et la thermopompe; • grand nombre de conduits requis et/ou grand réservoir d'eau; • électricité requise pour son fonctionnement.

Solaire

Il y a deux types de systèmes solaires, soit les systèmes actifs et les systèmes passifs. Tous deux sont utilisés en Ontario.

Systèmes actifs. Les pompes font circuler un mélange d'eau et de glycol dans des panneaux solaires placés côté sud (figure 6.5) où le liquide absorbe la chaleur. Le mélange eau-glycol chauffé est pompé à l'intérieur de tuyaux suspendus dans un grand réservoir isolé (échangeur de chaleur) pour chauffer

La figure 6.3 illustre le cycle d'évaporation dans une thermopompe.

1. Le compresseur comprime le gaz réfrigérant frais, qui devient un gaz chaud à haute pression (rouge dans le diagramme).
2. Ce gaz chaud circule dans un ensemble de serpentins, à l'intérieur de la fournaise, où :
   a. un ventilateur souffle l'air repris dans la maison à travers l'appareil pour dissiper la chaleur du gaz et le condenser sous une forme liquide;
   b. ce liquide est pompé dans une série de tuyaux dans le plancher, où il réchauffe le bâtiment.
3. Le liquide réfrigérant passe dans un détendeur et s'évapore jusqu'à ce qu'il devienne un gaz réfrigérant froid à faible pression (bleu clair dans le diagramme).
4. Ce gaz froid circule dans un ensemble de serpentins, où il absorbe de la chaleur. À l'autre extrémité des serpentins, un liquide contenant de l'antigel descend par un circuit en boucle dans le sol ou dans une source d'eau où il absorbe plus de chaleur.
5. Une petite quantité de mazout léger est mélangé au liquide réfrigérant de manière à lubrifier le compresseur.

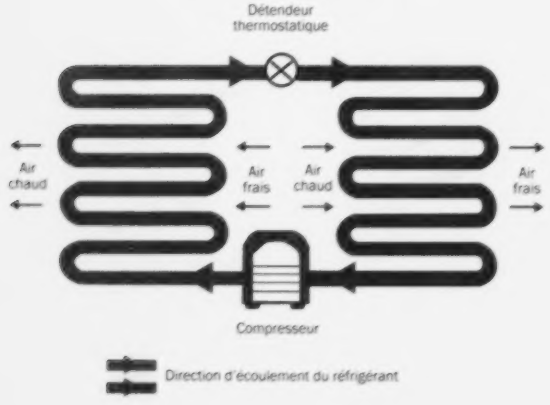


Figure 6.3 Illustration du fonctionnement d'une thermopompe

Plus couramment utilisées pour chauffer et rafraîchir les résidences (figure 6.4), les thermopompes sont mises à profit dans de nombreuses applications agricoles, allant de l'extraction de la chaleur de l'air évacué des étables laitières pour chauffer une maison adjacente jusqu'au recours à un système d'extraction de la chaleur du sol pour chauffer le plancher d'un poulailler.

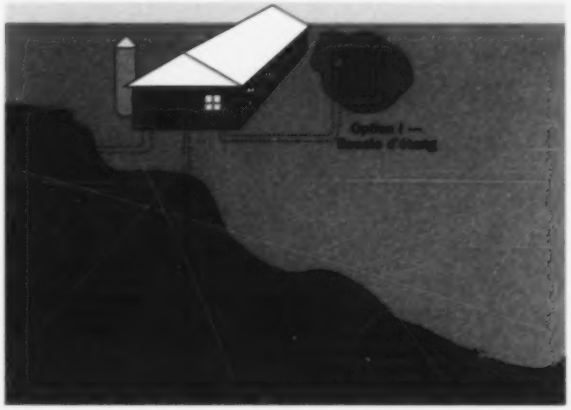


Figure 6.4 Trois types de boucles souterraines utilisées par les thermopompes pour extraire la chaleur du sol

Les systèmes géothermiques comportent des avantages et des inconvénients.

Géothermie	
Avantages	**Inconvénients**
• source d'énergie renouvelable; • faibles coûts d'exploitation possibles; • source d'énergie pour chauffer l'eau domestique et les locaux; • accès possible à des programmes d'incitatifs.	• coût élevé en capital pour l'installation électrique et la thermopompe; • grand nombre de conduits requis et/ou grand réservoir d'eau; • électricité requise pour son fonctionnement.

Solaire

Il y a deux types de systèmes solaires, soit les systèmes actifs et les systèmes passifs. Tous deux sont utilisés en Ontario.

Systèmes actifs. Les pompes font circuler un mélange d'eau et de glycol dans des panneaux solaires placés côté sud (figure 6.5) où le liquide absorbe la chaleur. Le mélange eau-glycol chauffé est pompé à l'intérieur de tuyaux suspendus dans un grand réservoir isolé (échangeur de chaleur) pour chauffer

l'eau. L'eau chaude de ce réservoir est ensuite pompée dans tout le bâtiment pour y fournir de la chaleur selon les besoins – la chaleur est d'ordinaire fournie à partir du plancher mais des tubes à ailettes sont également utilisés.

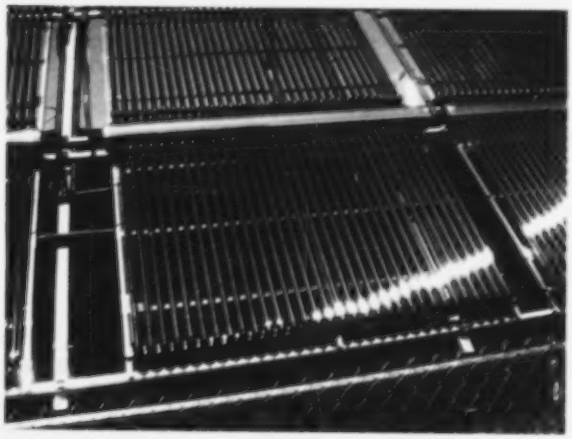


Figure 6.5a Chauffe-eau alimenté par un système solaire actif

Systèmes passifs. Les systèmes passifs sont installés du côté sud du bâtiment d'élevage. L'air de ventilation circule dans les panneaux solaires perforés et est préchauffé – lorsqu'il fait soleil – avant son entrée dans l'installation.

Figure 6.5b Système solaire passif

Les systèmes de chauffage à l'énergie solaire comportent des avantages et des inconvénients.

Solaire	
Systèmes actifs	
Avantages	**Inconvénients**
• source d'énergie gratuite lorsqu'il fait soleil; • systèmes pouvant incorporer un stockage thermique, ce qui permet de profiter de la chaleur sur une plus longue période.	• systèmes plus difficiles à installer à cause des pompes, des tuyaux et des dispositifs de stockage et de distribution; • système de commande plus complexe requis; • plus d'entretien requis.
Systèmes passifs	
Avantages	**Inconvénients**
• source d'énergie gratuite lorsqu'il fait soleil; • facilité d'installation et d'entretien; • très grande facilité de commande et de gestion.	• absence de stockage thermique rendant les systèmes tributaires du soleil; • dérivation de l'air d'été requise pour prévenir un chauffage non souhaité de l'air de ventilation.

Biomasse

La biomasse est utilisée pour générer de la chaleur en combinaison avec des chaudières pour fournir de l'eau chaude aux systèmes de chauffage hydronique (planchers chauffants ou tubes à ailettes). La figure 6.6 montre une grosse chaudière à biomasse utilisée dans une exploitation de naissage-finition de porcs. Le convoyeur à droite sert à transporter la biomasse jusque dans la chaudière. Dans ce système, l'ajout de la biomasse et l'enlèvement de la cendre se font d'une manière entièrement automatisée, dans la mesure où les matériaux utilisés comme biomasse sont suffisamment fins, selon les spécifications du fabricant. La sciure de bois et les granules de bois sont les matériaux les plus couramment employés.

Voici les matériaux qui composent le plus souvent la biomasse :

- les granules de bois – coût plus élevé, teneur en énergie uniforme, manipulation facile;
- les déchets ligneux – coût moins élevé mais manipulation plus difficile;

- les granules de biocombustible (p. ex. panic raide, miscanthus, etc.) – coût plus élevé, manipulation facile;
- le maïs égrené ou des céréales – coût plus élevé; manipulation facile.

Figure 6.6 Chaudière à biomasse dans une porcherie

La disponibilité de la biomasse, la consistance de la matière (teneur en eau) et la facilité de manipulation/stockage sont tous des facteurs à prendre en considération au moment de faire le choix d'un système de chauffage à la biomasse. Ces matières sont encombrantes et brûlent dans des chambres de combustion à air pulsé. L'efficacité nominale des chaudières à biomasse est de 50 à 70 % comparativement aux chaudières standard au mazout ou au gaz naturel, dont l'efficacité est de 75 à 80 %.

Les chaudières à biomasse génèrent une quantité considérable de cendres que le producteur doit éliminer.

Les systèmes de chauffage à la biomasse comportent des avantages et des inconvénients.

Biomasse	
Avantages	**Inconvénients**
• accès facile à une source de combustible à un prix raisonnable; • système de chauffage écologique.	• approvisionnement non constant et prix qui fluctuent; • alimentation en combustible exigeant passablement d'espace pour le stockage et la manipulation; • plus forte intensité de main-d'œuvre; • certificat d'autorisation du ministère de l'Environnement parfois nécessaire; • système de chauffage nécessitant plus de gestion et d'entretien; • régulation compliquée.

6.3.5 Coûts comparatifs des sources d'énergie pour le chauffage

On peut difficilement comparer les coûts des diverses sources d'énergie car les unités de mesure varient pour chacune. Le tableau 6.1 indique les valeurs d'enthalpie de diverses sources d'énergie en fonction de leur unité de mesure respective. La troisième colonne montre la fourchette d'efficacité de chaque source d'énergie, et ce, selon le style d'appareil de chauffage utilisé.

Tableau 6.1 Énergie calorifique de diverses sources d'énergie

Source d'énergie	Enthalpie en BTU/unité	Efficacité de la combustion[a]	Quantité requise pour générer 1 000 000 BTU[b]
gaz naturel	35 500 BTU/m³	de 75 à 82 %	35,9 m³
propane	24 000 BTU/L	de 75 à 82 %	53,1 L
mazout	36 200 BTU/L	de 70 à 78 %	37,3 L
électricité	3 413 BTU/kWh	100 %	293,0 kWh
bois - bois dur - bois mou - bois mixte - granules de bois	29 x 10^6 BTU/corde 17,7 x 10^6 BTU/corde 23,4 x 10^6 BTU/corde 18,8 x 10^6 BTU/tonne	de 55 à 70 % de 55 à 70 % de 55 à 70 % de 70 à 80 % (technologie de pointe)	0,06 corde 0,09 corde 0,07 corde 0,07 tonne
maïs égrené	392 000 BTU/boisseau	de 70 à 80 %	3,4 boisseaux
cannes de maïs	16,6 x 10^6 BTU/tonne	de 50 à 65 %	0,10 tonne
paille	14,4 x 10^6 BTU/tonne	de 50 à 65 %	0,12 tonne

[a] L'efficacité de la combustion varie selon le type d'appareil de chauffage utilisé.
[b] Le calcul de la quantité d'énergie requise pour générer l'énergie calorifique indiquée (1 million de BTU) est effectué d'après une efficacité de la combustion moyenne.

Par exemple, l'efficacité d'une chaudière à gaz est de beaucoup supérieure à celle d'un four à biomasse extérieur. Pour faciliter la comparaison, la dernière colonne indique, pour chaque source d'énergie, la quantité requise pour générer un million de BTU d'énergie calorifique utilisable. Une efficacité de combustion moyenne a été utilisée pour ce calcul.

Le tableau montre qu'il faut environ 36 m^3 de gaz naturel et 53 L de propane pour générer un million de BTU d'énergie calorifique.

Si le coût du gaz naturel est de 0,45 $/$m^3$ et celui du propane, de 0,35 $/L, les coûts comparatifs pour la génération d'un million de BTU sont les suivants :

0,45 $/$m^3$ x 36 m^3 = 16,20 $ en utilisant du gaz naturel;

0,35 $/L x 53 L = 18,55 $ en utilisant du propane.

Dans ce cas, le gaz naturel (s'il est disponible) est plus économique que le propane.

Le tableau 6.2 montre les coûts relatifs d'exploitation d'un système de chauffage durant l'hiver avec différentes sources d'énergie. Examinons le cas d'un système de chauffage d'un débit calorifique nominal de 100 000 BTU/h fonctionnant en moyenne 8 h/jour pendant 140 jours. La valeur nominale indiquée pour la plupart des appareils de chauffage correspond au débit calorifique nominal plutôt qu'à la puissance calorifique nominale (la puissance calorifique étant le débit calorifique corrigé en fonction de l'efficacité de la combustion). Par conséquent, une tolérance est calculée pour tenir compte de l'efficacité de la combustion dans chaque cas. Dans cet exemple, un système de chauffage d'un débit calorifique nominal de 100 000 BTU/h produit 75 000 BTU/h d'énergie utilisable si l'efficacité de la combustion est de 75 %.

Ce type d'analyse peut être réalisé pour n'importe quel type de combustible à son coût actuel pour déterminer la meilleure affaire. L'électricité est généralement la forme d'énergie qui coûte le plus cher, mais elle a l'avantage de produire une chaleur très propre et sèche.

Graphique comparatif des coûts de chauffage selon la source d'énergie utilisée

Une autre méthode de comparaison des coûts associés à diverses sources d'énergie couramment utilisée en agriculture consiste à créer un graphique de parité des combustibles. Si le graphique ne parle pas de la biomasse ni d'autres sources d'énergie de rechange, c'est en raison de la grande variabilité de l'enthalpie

Tableau 6.2 Comparaison des coûts de chauffage annuels en fonction de la source d'énergie et du coût unitaire associé à chacune

Facteurs liés au système de chauffage	Source d'énergie			
	Gaz naturel	Propane	Mazout	Électricité
Débit calorifique nominal[1]	100 000 BTU/h	100 000 BTU/h	100 000 BTU/h	75 000 BTU/h
Efficacité de la combustion	75 %	75 %	70 %	100 %
Total des heures de chauffage (8 h x 140 jours)	1 120 h	1 120 h	1 120 h	1 120 h
Puissance calorifique totale	100 000 x 0,75 x 1 120 = 84 x 10^6 BTU	100 000 x 0,75 x 1 120 = 84 x 10^6 BTU	100 000 x 0,70 x 1 120 = 78,4 x 10^6 BTU	75 000 x 1,00 x 1 120 = 84 x 10^6 BTU
Puissance calorifique/ unité de mesure	35 500 BTU/m^3	24 000 BTU/L	36 200 BTU/L	3 413 BTU/kWh
Quantité totale d'énergie requise	84 x 10^6/35 500 = 2 366 m^3	3 500 L	2 166 L	26 412 kWh
Coût unitaire[2]	0,45 $/$m^3$	0,35 $/L	0,90 $/L	0,12 $/kWh
Coût annuel de chauffage	2 366 x 0,45 $ = 1 065,00 $	1 225,00 $	1 949,00 $	2 953,00 $

[1]Selon les spécifications de débit calorifique nominal. Pour les systèmes à l'électricité, on a réduit ce débit de 22 kW pour obtenir une puissance calorifique utilisable équivalente.
[2]Prix moyen pratiqué en décembre 2008.

et de l'efficacité de la combustion qui les caractérisent. La figure 6.7 montre un graphique de parité des sources d'énergie où sont comparés le gaz naturel, le propane, le mazout et l'électricité selon leur efficacité spécifique. En se fiant aux données du tableau 6.2, on suppose que l'électricité est achetée à 0,12 $/kWh.

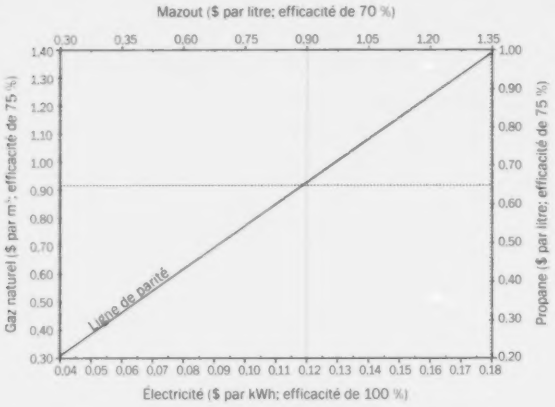


Figure 6.7 Efficacité de 70 %, de 100 % et de 75 % pour des appareils standard fonctionnant respectivement au mazout, à l'électricité et au gaz naturel ou au propane

Utiliser la figure 6.7 et suivre les étapes suivantes :

1. Commencer par repérer le prix de l'électricité, soit 0,12 $/kWh, sur l'axe des x de la figure 6.7. À partir de ce point, dessiner une ligne vers le haut jusqu'à la ligne de parité.
2. Pour les autres sources d'énergie qui figurent dans ce tableau, relier le point d'intersection de la ligne de parité aux autres combustibles par une ligne verticale ou horizontale pour déterminer le prix du combustible équivalent. On obtient :
   - 0,90 $/L pour le mazout;
   - 0,65 $/L pour le propane;
   - 0,92 $/m^3 pour le gaz naturel.

Tout combustible acheté à un prix inférieur au prix de parité permet de réaliser des économies. Le propane et le gaz naturel se vendent à un prix de beaucoup inférieur au prix de parité et sont de meilleurs choix sur le plan économique que l'électricité et le mazout (le gaz naturel se vendant 0,45 $/m^3 et le propane, 0,35 $/L).

Les données d'efficacité énergétique suivantes ont été utilisées pour la figure 6.7.

Électricité : 100 %. On considère que le chauffage électrique à la ferme à l'aide d'appareils à résistance électrique (plinthes électriques, appareils de chauffage pour laiterie, etc.) donne un rendement de 100 %. Chaque kWh acheté au compteur est à 100 % converti en chaleur.

Propane et gaz naturel : 75 %. Ces combustibles fossiles sont brûlés. L'appareil de chauffage contient normalement un échangeur de chaleur; seulement 80 % de la chaleur est effectivement captée au niveau de combustion idéal (après 10 minutes de combustion : rendement en régime permanent). De plus, il y a des pertes qui surviennent à la mise en marche et à l'arrêt et même lorsque l'appareil ne fonctionne pas, car la chaleur est évacuée par une cheminée.

Mazout numéro 2 : 70 %. Le mazout, également un combustible fossile, est brûlé. Les systèmes au mazout comportent un échangeur de chaleur; seulement 80 % de la chaleur est effectivement captée au niveau de combustion idéal (après 10 minutes de combustion : rendement en régime permanent). De plus, il y a des pertes qui surviennent à la mise en marche et à l'arrêt et même lorsque l'appareil ne fonctionne pas, car la chaleur est évacuée par une cheminée. Ces pertes sont supérieures à celles qui sont associées au gaz naturel et au propane, car le mazout est plus sale.

Par suite de la hausse des coûts de l'énergie, les fabricants d'appareils de chauffage ont élaboré des appareils plus performants sur le plan énergétique. La figure 6.8 est un graphique de parité des sources d'énergie basé sur l'utilisation d'appareils à haute efficacité énergétique.

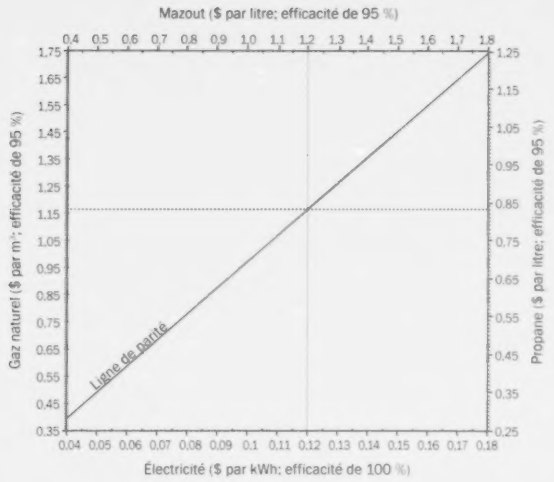


Figure 6.8 Efficacité de 90 %, de 100 % et de 95 % pour des appareils à haute efficacité énergétique fonctionnant respectivement au mazout, à l'électricité et au gaz naturel/propane

Les données d'efficacité énergétique suivantes ont été utilisées pour la figure 6.8.

Électricité : 100 %. On considère que le chauffage électrique à la ferme à l'aide d'appareils à résistance électrique (plinthes électriques, appareils de chauffage pour laiterie, etc.) donne un rendement de 100 %. Chaque kWh acheté au compteur est à 100 % converti en chaleur.

Propane et gaz naturel : 95 %. Ces combustibles fossiles sont brûlés. Dans un brûleur à condensation à haute efficacité énergétique, l'échangeur de chaleur est conçu pour récupérer une plus grande quantité de chaleur, au point où les gaz évacués se condensent, ce qui permet de récupérer encore plus d'énergie et de porter l'efficacité à environ 95 %.

Mazout numéro 2 : 90 %. Ce combustible est brûlé. Dans un brûleur à condensation à haute efficacité énergétique, l'échangeur de chaleur récupère une plus grande quantité de chaleur, au point où les gaz évacués se condensent, ce qui permet de récupérer encore plus d'énergie et de porter l'efficacité à environ 90 %. Le mazout ne permet toutefois pas d'atteindre l'efficacité d'un système au propane ou au gaz naturel, ce qui explique l'écart de 5 % par rapport à l'efficacité des systèmes au propane et au gaz naturel.

Dans la figure 6.8, relier le point d'intersection de la ligne de parité aux combustibles par une ligne verticale ou horizontale pour déterminer le prix de combustible équivalent, soit :

- 1,20 $/L pour le mazout;
- 0,84 $/L pour le propane;
- 1,17 $/m^3 pour le gaz naturel.

Tout combustible acheté à un prix inférieur au prix de parité permet de réaliser des économies. Le propane et le gaz naturel se vendent tous deux à un prix de beaucoup inférieur au prix de parité et sont de meilleurs choix sur le plan économique que l'électricité et le mazout, le gaz naturel se vendant 0,45 $/m^3 et le propane, 0,35 $/L.

6.4 Types de systèmes de chauffage

Les systèmes de chauffage par convection comprennent les appareils à air pulsé et les chaudières à eau chaude (chauffage hydronique) et sont associés à une variété de systèmes de distribution (tubes à ailettes, tuyaux installés dans le plancher et air pulsé). Ces systèmes réchauffent tout l'air contenu dans un local.

Les systèmes de chauffage par rayonnement ne réchauffent que l'animal ou l'oiseau qui se trouve dans un endroit donné, sans réchauffer l'air ambiant. Ce type de source de chaleur convient bien aux coins à porcelets, aux enclos à veaux et aux élevages de poussins de type à griller, car il permet de ne réchauffer que le petit animal, poussin ou dindonneau.

Les systèmes de chauffage par rayonnement comprennent :

- radiateurs;
  - tubes rayonnants au gaz basse intensité et haute intensité
  - tubes de quartz rayonnants électriques
- lampes chauffantes;
- coussins chauffants;
- planchers chauffants (systèmes hydroniques).

6.4.1 Chauffage par rayonnement

Les systèmes de chauffage par rayonnement imitent la façon dont l'énergie émane du soleil. Ils produisent des rayons infrarouges qui se convertissent en chaleur lorsqu'ils sont absorbés par les objets sur leur passage. Une fois que les rayons infrarouges sont absorbés par les planchers, le matériel et les animaux, l'air ambiant est réchauffé rapidement et efficacement, ce qui le rend le local confortable. En dirigeant les rayons infrarouges vers le bas pour réchauffer des objets et des personnes dans des zones circonscrites, on ne réchauffe pas entièrement le volume d'air contenu dans le bâtiment (figure 6.9). Pour les bâtiments d'élevage, la chaleur rayonnante est un moyen de chauffage rentable qui contribue au confort des animaux. Il existe un certain nombre de systèmes de chauffage à infrarouges, et chacun a ses propres caractéristiques.

Tubes rayonnants à infrarouges au gaz basse intensité

Les tubes rayonnants à infrarouges au gaz basse intensité (figure 6.10) comportent un coté chaud à environ 650 °C (côté brûleur) et un côté froid à environ 200 °C (coté évacuation). Certains fabricants offrent un échangeur de chaleur de conception spéciale (tube) qui assure une puissance calorifique plus uniforme sur toute sa longueur. Ces tubes peuvent comporter une section en acier inoxydable de 10 pi (3 m) du côté brûleur. Un turbulateur peut aussi être incorporé à l'intérieur des tubes. Les systèmes à deux paliers et à débit variable permettent de régler la puissance calorifique requise en fonction de la demande de chaleur. Lorsque la température diminue dans le bâtiment d'élevage, le système génère une puissance calorifique accrue. Il a été montré que les systèmes de chauffage à deux paliers entrainent des économies au chapitre des coûts d'exploitation d'au moins 12 % par rapport aux systèmes de chauffage à un seul palier. Les relevés météorologiques montrent qu'une puissance maximale d'utilisation (puissance calorifique de 100 %) n'est requise que pour environ 10 % du temps dans la plupart des régions en Amérique du Nord.

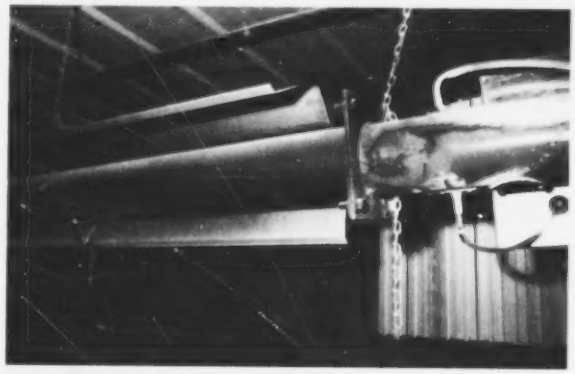


Figure 6.10 Tubes rayonnants basse intensité dans un poulailler

Les avantages des tubes rayonnants basse intensité sont les suivants :

- coût d'exploitation se rapprochant de ceux d'un système de chauffage à eau chaude, mais investissement moindre par rapport à un tel système;

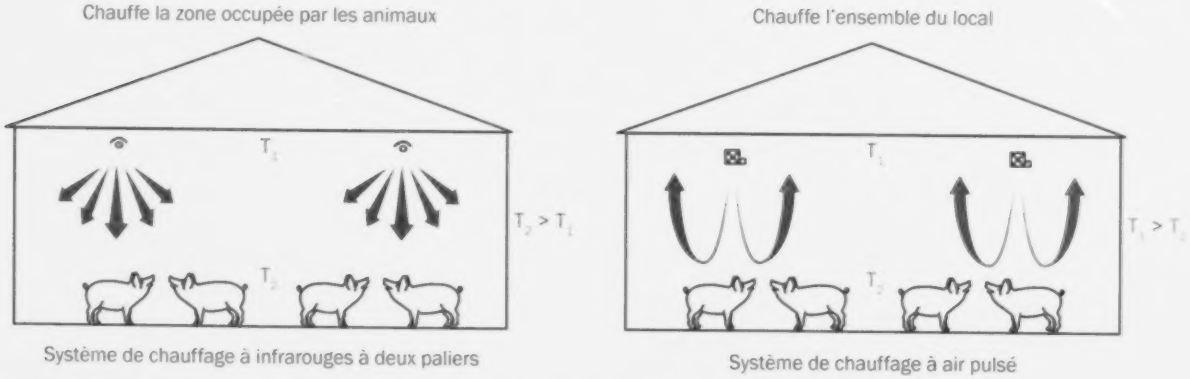


Figure 6.9 Comparaison d'un système de chauffage à infrarouges et d'un système à air pulsé

- appareils de débit calorifique nominal allant de 25 000 à 250 000 BTU/h (7 300-73 000 watts), certains ayant un brûleur à deux paliers ou à débit variable;
- conduits alimentant l'appareil en air frais et évacuant l'air vicié, ce qui assure une meilleure combustion et l'élimination des sous-produits de combustion à l'extérieur du bâtiment d'élevage;
- chaleur de qualité fournie aux animaux là où ils en ont besoin sans que ne se crée de déplacements d'air excessifs (déplacements qui sont nécessaires pour les systèmes à air pulsé);
- cycle de fonctionnement réduit, ce qui accroît la durée de vie du produit;
- efficacité énergétique accrue, ce qui se traduit par une réduction des émissions de CO_2 et d'autres contaminants et un milieu plus sain.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Au moment de l'installation d'un tube rayonnant, envisager le choix d'un appareil à deux paliers ou d'un appareil modulant. Dimensionner l'appareil en fonction de diverses conditions climatiques et densités animales de manière à réaliser des économies d'énergie et à rendre l'environnement plus confortable.

Tubes rayonnants au gaz haute intensité

Ces appareils fonctionnent à une température de surface très élevée, c.-à-d. à 1 100 °C ou plus (figure 6.11). Ils ne brûlent que l'air intérieur du bâtiment et les gaz de combustion ne peuvent être évacués à l'extérieur. Assurer un apport d'air frais suffisant dans l'installation pour prévenir l'accumulation de sous-produits de combustion.

Les tubes rayonnants au gaz haute intensité sont souvent utilisés dans les zones occupées par des poussins naissants. Ces appareils sont à chauffage direct et exigent par conséquent des taux de renouvellement d'air élevés. L'entretien est essentiel à leur bon fonctionnement – un entretien non approprié entraîne une combustion inadéquate et la libération de concentrations toxiques de monoxyde de carbone. Leur débit calorifique nominal se situe entre 3 420 et 30 000 BTU/h (1 000-9 000 W).

Figure 6.11 Radiateur à flamme nue

Tubes de quartz rayonnants électriques

Les tubes de quartz électriques (figure 6.12) ne sont utilisés que dans les locaux partiellement réservés à l'élevage de poussins. Ils exigent normalement qu'une partie du local soit temporairement entourée d'une membrane de plastique ou d'un autre matériau. Un apport de chaleur additionnel est requis par temps froid. Le débit calorifique nominal des tubes de quartz électriques se situe entre 1 700 et 34 000 BTU/h (500-10 000 W).

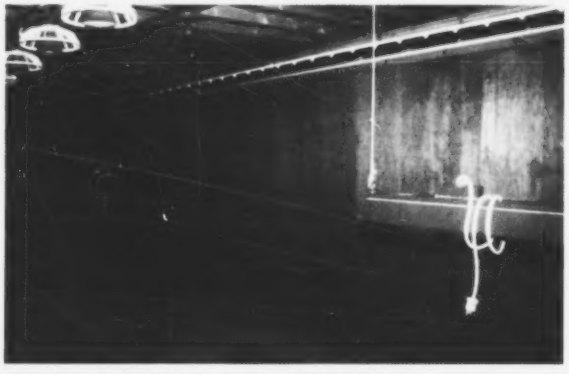


Figure 6.12 Tube de quartz électrique dans un poulailler

Lampes chauffantes électriques

Les lampes chauffantes sont très courantes dans les porcheries-maternités où elles sont utilisées pour réchauffer les porcelets, comme il est illustré à la figure 6.13. Elles sont également utilisées dans les enclos d'agnelage et les pouponnières à veaux. Il faut les surveiller pour s'assurer que la chaleur est fournie selon les besoins et au niveau souhaité. En été, l'utilisation d'un coupe-circuit de protection contre la surchauffe est recommandée. Cela assure la mise hors tension de ces lampes lorsque le local devient trop chaud et leur remise sous tension le soir lorsque le local se refroidit. Pour adapter la puissance calorifique à la croissance des animaux, l'utilisation de gradateurs ou d'interrupteurs à diode est recommandée, car ceux-ci peuvent diminuer la puissance de moitié environ lorsque moins de chaleur est requise. Les lampes chauffantes récentes comportent un réflecteur interne spécial qui permet d'uniformiser la puissance calorifique fournie et, par le fait même, d'augmenter le confort des animaux et les schémas de positions couchées. Il existe de nombreux styles de lampes chauffantes, les plus populaires étant les suivants :

- **Lampes à col de cygne de 125 et de 250 W.** Ces lampes ne sont pas recommandées car la majeure partie de la chaleur générée n'est pas rayonnante. Des lampes de 175 W sont donc généralement requises pour de plus longues périodes, mais elles entraînent un gaspillage d'énergie.
- **Lampes IR-PAR de 100 et de 175 W.** Les modèles plus récents comportent des éléments internes modifiés et assurent une meilleure répartition de la chaleur rayonnante sur une plus grande surface; les locaux sont ainsi moins chauds au centre et plus confortables pour l'animal.

Figure 6.13 Lampes chauffantes procurant un chauffage par rayonnement

Coussins chauffants électriques ou à eau chaude

Les coussins chauffants sont un bon choix pour les porcheries-maternités où ils sont utilisés pour réchauffer les porcelets, comme il est illustré à la figure 6.14. Ils sont très efficaces sur le plan énergétique et fournissent une chaleur par conduction aux porcelets qui y sont couchés. De nombreux producteurs utilisent des lampes chauffantes pendant les quelques jours entourant la mise bas, puis se servent de coussins chauffants pour fournir toute la chaleur nécessaire aux nouveau-nés après leur naissance. S'assurer que la chaleur est fournie selon les besoins et au niveau souhaité. En été, il est recommandé d'utiliser un coupe-circuit de protection contre la surchauffe, qui assure la mise hors tension des coussins lorsque le local devient trop chaud et leur remise sous tension le soir lorsque le local se refroidit. Pour adapter la puissance calorifique à la croissance des animaux, l'utilisation de gradateurs ou d'interrupteurs à diode est recommandée, car ceux-ci peuvent diminuer la puissance de moitié environ lorsque moins de chaleur

est requise. Pour une plus grande durabilité, éviter d'écraser les coussins une fois qu'ils sont étendus sur le plancher des cases de parturition. Ils ne sont pas conçus pour supporter un poids supérieur à celui d'un groupe de porcelets et peuvent se briser sous un poids excessif.

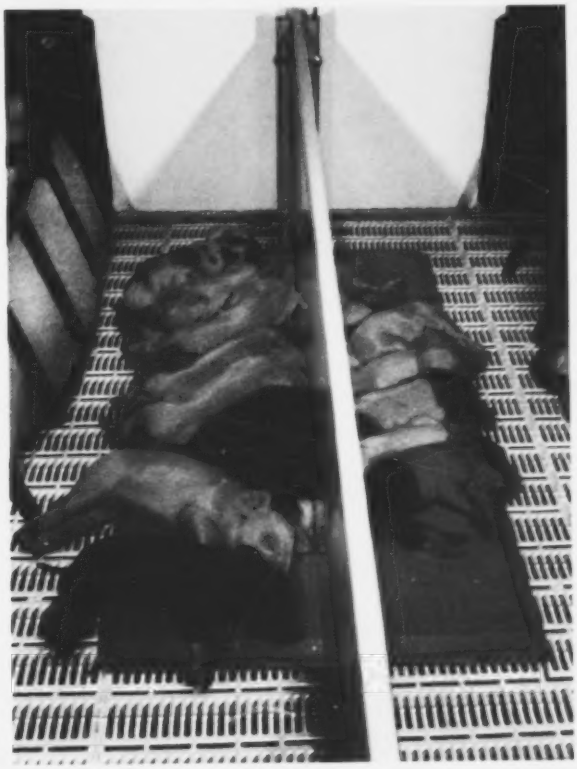


Figure 6.14 Coussin chauffant pour coins à porcelets

Source : Hog Hearth, Automated Production Systems, Assumption, Illinois.

Il existe deux principaux types de coussins chauffants :

- Les **coussins électriques**, qui fournissent 60-120 W par case de parturition, qui viennent en format simple ou double et qui sont faciles à installer après coup.
- Les **coussins à eau chaude**, qui sont faits de béton, d'aluminium en plaque ou de plastique. L'eau chaude est acheminée par des tuyaux à l'intérieur des coussins chauffants. La conception du système d'alimentation en eau chaude et du système de régulation revêt une grande importance si l'on veut obtenir l'apport de chaleur nécessaire au moment voulu et éviter le gaspillage. Ce système offre beaucoup de souplesse, car il permet de chauffer l'eau au moyen de diverses sources de chaleur, incluant la biomasse, le gaz naturel, etc.

6.4.2 Chauffage des locaux par convection

Air pulsé

Les systèmes de chauffage par convection réchauffent l'air et l'air chauffé est distribué dans le local, comme peut le faire une fournaise dans une maison. Les systèmes les plus courants actuellement sont des appareils à chauffage direct et à air pulsé non ventilés qui fonctionnent au propane ou au gaz naturel.

Ces appareils chauffent un local entier à la température souhaitée. Leur débit calorifique nominal se situe entre 10 000 et 250 000 BTU/h (2 900-73 300 W). À la figure 6.15, on a tourné la soupape (bleue) pour réduire la puissance calorifique jusqu'à la moitié. Cela améliore l'efficacité énergétique en empêchant l'appareil de dépasser la température de consigne et en évitant le gaspillage de chaleur. La puissance calorifique est fournie plus lentement et plus uniformément.

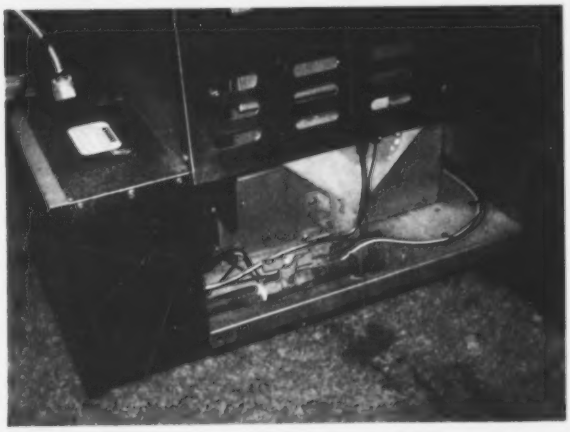


Figure 6.15 Aérotherme avec soupape de gaz réglable (bleue)

En général, il faut placer les appareils de chauffage par convection près des entrées d'air, de sorte que l'air entrant soit réchauffé le plus rapidement possible. On peut réchauffer l'air froid en le préchauffant dans des conduits traversant un couloir ou le vide sous-toit avant de l'acheminer dans le local où se trouvent les animaux. Un autre système courant consiste à placer

l'appareil à air pulsé près de l'entrée d'un répartiteur d'air. Cela permet de réduire les courants d'air et de répartir uniformément la chaleur au moyen du conduit de distribution. La figure 6.16 montre un appareil à air pulsé qu'on a placé à mi-longueur d'un bâtiment d'élevage pour assurer une meilleure répartition de la chaleur. On y voit également un raccord en T, lequel dirige la moitié de l'air chaud vers une extrémité du bâtiment et l'autre moitié, vers l'extrémité opposée.

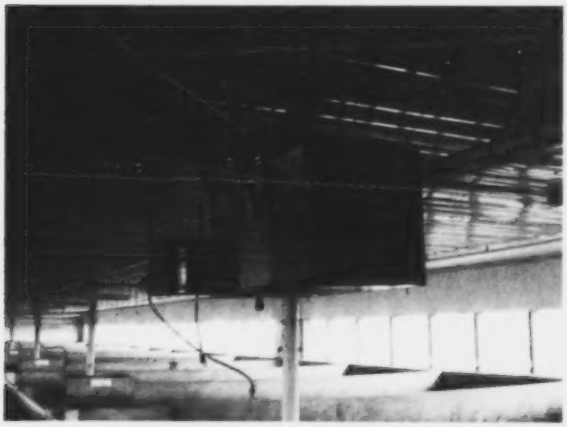


Figure 6.16 Aérotherme avec raccord en T

L'électricité est utilisée pour chauffer les bureaux et les vestibules. Il s'agit d'une source de chaleur simple et peu coûteuse à installer. Commander toutes les plinthes et appareils électriques à air pulsé à l'aide de thermostats installés à distance. Ne pas se fier au thermostat intégré dans l'appareil, car il peut être imprécis et risquerait d'entrainer une régulation inefficace et un gaspillage d'énergie. Voir le *chapitre 5 – Régulation des installations de ventilation*, pour plus d'information.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Commander toutes les plinthes électriques et tous les appareils électriques à air pulsé avec un thermostat à distance plutôt qu'avec le thermostat intégré dans l'appareil; la régulation se fera avec plus de précision, sans gaspillage de chaleur.

Eau chaude

Les systèmes de chauffage à eau chaude utilisent différentes sources d'énergie pour alimenter la chaudière, dont :

- le gaz naturel;
- le propane;
- le mazout;
- la géothermie;
- le solaire;
- la biomasse.

Ces systèmes distribuent la chaleur dans les bâtiments d'élevage au moyen de tuyaux d'eau chaude et font appel à des chaudières passablement éconergétiques, leur efficacité étant de 80 %.

Les systèmes de chauffage à eau chaude fournissent une chaleur sèche de bonne qualité, car les sous-produits de la combustion ne sont jamais évacués à l'intérieur du bâtiment d'élevage. La régulation de la température pose problème toutefois, car, comparativement aux autres systèmes, ces systèmes mettent plus de temps à réagir aux modifications de réglage de la puissance calorifique.

Les systèmes de chauffage à eau chaude sont dimensionnés pour fournir n'importe quel niveau de puissance calorifique souhaité, mais ils s'assortissent de coûts d'achat et à d'installation assez élevés. Leur rendement équivaut à celui des autres systèmes de chauffage. Pour assurer une répartition maximale de la chaleur, ces systèmes exigent un système de recirculation.

Un système de chauffage à eau chaude de base (figure 6.17) se compose des éléments suivants :

- une chaudière;
- une pompe de circulation;
- un vase d'expansion;
- des tuyaux de distribution;
- des radiateurs installés dans le local à chauffer – tuyaux en fer noir ou en acier, convecteurs à tubes et à ailettes, aérothermes ou tuyaux installés dans le plancher;
- des dispositifs de commande, des soupapes, des indicateurs de température et de pression, une purge d'air, une vanne de décharge de vapeur et un régulateur de pression.

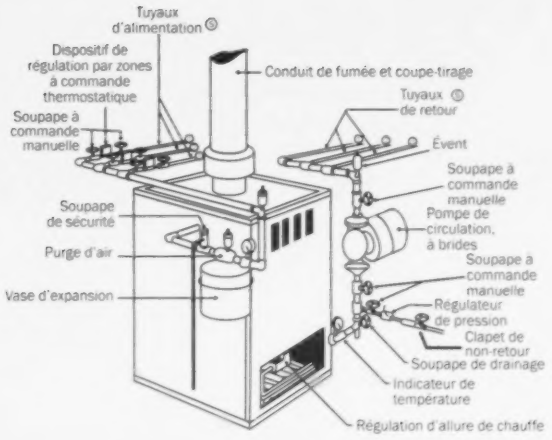


Figure 6.17 Système de chauffage à eau chaude courant

Les chaudières commerciales sont recommandées pour les plus gros systèmes. Elles sont conçues pour une fournir une forte puissance calorifique et des débits calorifiques plus élevés, et leur rendement à long terme est supérieur. Les nouveaux appareils à condensation et à pulsations à haute efficacité énergétique conviennent également (figure 6.18).

Figure 6.18 Système de chauffage hydronique à eau chaude et à condensation à haute efficacité énergétique

Placer la chaudière dans une chaufferie donnant à l'extérieur pour éviter les problèmes de refoulement d'air causés par les ventilateurs. Conformément au *Code d'installation du gaz naturel*, s'assurer que la chaufferie comporte, pour l'air comburant, deux évents qui sont situés respectivement près du plafond et près du plancher et qui donnent sur l'extérieur. Ces évents doivent être dimensionnés selon les spécifications du fabricant relatives au débit calorifique nominal (figure 6.19). Par exemple, les dimensions de chaque évent doivent être de 550 mm^2/kW de débit calorifique nominal pour les appareils au gaz naturel ou au propane et être six fois plus grandes pour des appareils alimentés au mazout et avec un combustible solide.

Figure 6.19 Entrée d'air frais et sortie d'air de combustion pour un système à condensation à haute efficacité énergétique

Régulation

Les systèmes de chauffage à eau chaude doivent comporter :

- un dispositif commandant l'arrêt automatique une fois la température maximale de l'eau atteinte;
- un dispositif commandant la mise en marche automatique à une température minimale donnée;
- un interrupteur de sécurité à maximum;
- une soupape de sécurité commandant l'arrêt automatique en cas de bas niveau d'eau;
- une soupape de décharge de vapeur installée sur le conduit de sortie de l'appareil, à un endroit où elle ne causera pas de blessures en cas d'ouverture.

Parmi les autres dispositifs de régulation qui peuvent être ajoutés, mentionnons les interrupteurs de débit – importants pour certains types de chaudières – et un dispositif de régulation de la température à marche modulée. Ces dispositifs fonctionnent avec un capteur de température extérieure, qui permet d'apparier l'apport de chaleur avec la demande.

Radiateurs

Il s'agit d'éléments assurant le transfert de la chaleur de l'eau chaude au local. Les systèmes les plus courants sont les suivants :

- tuyaux en acier noir;
- convecteurs à tubes à ailettes;
- aérothermes à eau chaude à air pulsé.

Tuyaux d'eau chaude

Les tuyaux d'eau chaude sont couramment utilisés dans les bâtiments d'élevage. Ils sont faciles à nettoyer, sont moins affectés par la poussière et peuvent être difficilement endommagés. Les tuyaux en métal nu sont plus coûteux et exigent plus de main-d'œuvre à l'installation que les convecteurs à tubes à ailettes en raison de leur plus grande taille et du plus grande nombre de tuyaux requis. Ne pas utiliser de tuyaux galvanisés puisque la galvanisation limite le transfert de chaleur. La figure 6.20 montre un tuyau d'eau chaude en acier noir.

Figure 6.20 Tuyau d'eau chaude en acier noir

Les tuyaux d'eau chaude en acier noir sont d'ordinaire installés sous des entrées d'air ou sur des supports muraux. Installer les tuyaux d'eau chaude à une distance du mur qui n'est pas inférieure au diamètre du tuyau de sorte que l'air puisse circuler librement autour de celui-ci. Pour déterminer la puissance calorifique et la longueur d'un tuyau d'eau chaude en acier nu, il suffit de consulter le tableau 6.3. Les locaux d'élevage utilisent de 1 à 4 boucles de tuyaux.

Tableau 6.3 Puissance calorifique avec un tuyau en acier nu ordinaire de *schedule 40* (BTU/h/pi ou W/m)

Dimensions nominales du tuyau		Différence de température entre le tuyau et l'air ambiant (° C)						Volume du tuyau	
mm	po	40	50	60	70	80	90	L/m	gal/pi
19	0,75	-	-	-	-	-	-	0,28	0,023
25	1,0	55	70	90	110	130	150	0,56	0,045
32	1,25	70	90	110	135	160	190	0,97	0,078
38	1,5	80	100	130	160	185	220	1,32	0,106
50	2,0	100	120	160	190	220	260	2,16	0,174
75	3,0	150	180	220	270	320	380	4,77	0,384

Remarque : 1,0 W/m est pratiquement égal à 1,04 BTU/h/pi. Dans ce tableau, les dimensions nominales du tuyau correspondent au diamètre intérieur approximatif; le volume est exprimé en gallons américains (unité de mesure utilisée dans la plupart des spécifications relatives à l'équipement).

Exemple : Quelle longueur de tuyau en acier noir de 2 po est requise pour obtenir un apport de chaleur de 30 kW dans une porcherie d'engraissement où la température est maintenue à 15 °C, si la température moyenne de l'eau chaude est de 85 °C?

Solution : Voir le tableau 6.3; les réponses sont ombrées. La différence de température est de 70 °C (85 °C – 15 °C), ce qui correspond dans le tableau à une puissance calorifique de 190 W/m pour des tuyaux de 2 po. La longueur du tuyau nécessaire est calculée comme suit : 30 000 W ÷ 190 W/m = 160 m. Quatre canalisations (deux boucles) sont requises.

Tubes à ailettes

Les tubes à ailettes offrent une capacité de transfert de chaleur de quatre à cinq fois supérieure à celle des tuyaux de métal nu. La puissance calorifique varie selon la dimension des ailettes et leur espacement. Consulter le fournisseur pour obtenir les données techniques. Ces tubes conviennent particulièrement aux petits locaux ou aux serres où il n'y a pas assez de place pour des tuyaux de métal nu. Lorsqu'une moins grande quantité de chaleur est requise, placer de courtes sections de tubes à ailettes le long du mur (figure 6.21).

Les principaux inconvénients des systèmes à tubes à ailettes sont liés au fait qu'ils amassent de la poussière (ce qui réduit leur rendement), qu'ils exigent de fréquents nettoyages et qu'ils sont faciles à endommager. Ils ne sont pas recommandés pour les bâtiments d'élevage poussiéreux.

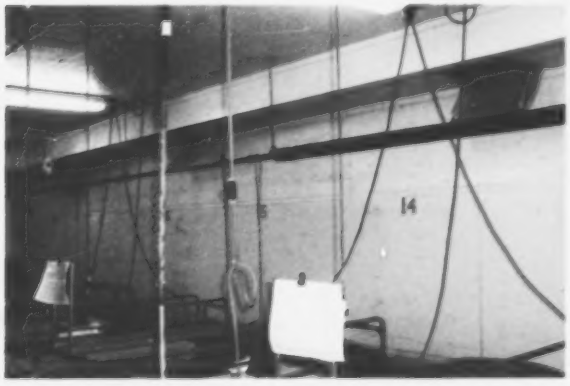


Figure 6.21 Réseau de tubes à ailettes dans une porcherie-maternité

Aérothermes alimentés à l'eau chaude

Ces appareils sont un excellent choix pour tous les types de locaux d'élevage, les ateliers, les laiteries et les endroits similaires où une source de chaleur concentrée est souhaitable. On les intègre aux conduits de ventilation ou à d'autres types de systèmes de circulation d'air pour que la chaleur circule plus uniformément. Dans les bâtiments poussiéreux, inspecter et nettoyer régulièrement ces appareils afin de maintenir l'efficacité du chauffage. La figure 6.22 montre un aérotherme à l'eau chaude qui aurait besoin d'être nettoyé.

Figure 6.22 Aérotherme à l'eau chaude

Dimensionnement des appareils de chauffage à eau chaude

Tout apport de chaleur supplémentaire est calculé en fonction du niveau d'isolation du bâtiment, du taux de renouvellement d'air, de la chaleur dégagée par les animaux, de la température extérieure et d'autres facteurs. Les valeurs de référence applicables aux bâtiments d'élevage s'accompagnent de lignes directrices générales. Ces valeurs, qui indiquent la chaleur requise par animal, sont fiables dans la plupart des situations.

Sélectionner un appareil de chauffage selon sa puissance calorifique nette – ou de sortie – et non selon son débit calorifique. Le débit calorifique est important pour les calculs liés aux réserves de gaz, aux dimensions du conduit de fumée et l'alimentation en air de combustion. Les deux valeurs sont inscrites sur la plaque signalétique de l'appareil, laquelle

indique également des valeurs de haute altitude pour les endroits situés à une altitude supérieure à 2 000 pi (600 m) – l'Alberta et certaines régions de la Colombie-Britannique.

Ajouter un pourcentage de 10 à 20 % comme facteur de sécurité. Mais se rappeler qu'un appareil de chauffage surdimensionné est moins efficace qu'un appareil dimensionné correctement.

Vase d'expansion

L'eau se dilate d'environ 40 % lorsqu'elle passe de la température ambiante à une valeur se rapprochant de celle du point d'ébullition. Ce changement de volume est absorbé par le vase d'expansion. Deux types de vases d'expansion sont disponibles – un vase par simple gravité placé au-dessus de l'appareil ou un vase avec actionneur pneumatique à membrane, comme il est illustré à la figure 6.17. Consulter le fournisseur pour déterminer quel vase d'expansion convient au système envisagé.

Pour sélectionner un vase d'expansion, calculer le volume d'eau que contient le système complet. La dimension du vase d'expansion doit correspondre à la totalité de ce volume. Le tableau 6.3 montre la capacité d'un tuyau standard comme outil pour calculer le volume du système. À cela, il faut ajouter la quantité d'eau que contient l'appareil de chauffage proprement dit.

Autres considérations

Régulation automatique de la température et par zones. Il s'agit de caractéristiques souhaitables qui font appel à des régulateurs de débit à commande thermostatique. Des soupapes automatiques régulent le circuit d'eau chaude dans chaque local ou zone; elles sont activées par un thermostat installé dans le local. La pompe de recirculation fonctionne continuellement, et les soupapes s'ouvrent et se ferment selon les besoins. La pompe est activée par un thermostat ou un aquastat, lorsqu'une ou plusieurs zones exigent un plus grand apport de chaleur. Des pompes à trois vitesses sont également disponibles pour accroitre le débit lorsque cela est nécessaire.

Soupapes. Les soupapes permettent d'isoler et de réguler toutes les zones ou tous les circuits. Installer des soupapes avec des raccords-unions ou à brides aux deux extrémités de la pompe pour permettre de retirer celle-ci aux fins de réparation. Le même principe s'applique à toutes les autres pièces d'équipement qui exigent un entretien. Des soupapes à commande manuelle sont parfois requises pour l'équilibrage du système dans des installations à zones multiples, pour l'arrêt normal du système ou en cas de défaillance d'un thermostat. Les soupapes doivent être de une ou deux grandeurs plus petites que le tuyau qu'elles desservent. Si un tuyau est plus gros que ne l'exige le débit (p. ex. tuyau de métal nu), déterminer le débit et choisir une soupape de la capacité requise.

Purge et aération. Ces deux mesures sont utilisées si les tuyaux de chauffage forment une pente uniforme vers une extrémité (ou un point). Installer des robinets de purge aux points bas et des évents d'aération aux points hauts. Un robinet et un évent suffisent pour les systèmes simples; les systèmes plus complexes peuvent en nécessiter plusieurs.

Antigel et protection contre la corrosion. Utiliser un antigel en cas de danger de gel, ce qui est le cas pour la plupart des systèmes agricoles. Utiliser une solution d'éthylène glycol expressément formulée pour les systèmes de chauffage à eau chaude. Les inhibiteurs de corrosion qu'elle contient permettent de maintenir la performance à long terme des systèmes et de leurs composants. Faire analyser la solution antigel chaque année, et, au besoin, ajouter des inhibiteurs de corrosion. La plupart des fournisseurs de produits chimiques offrent ce service d'analyse.

Il est possible d'utiliser un antigel pour véhicules automobiles, mais cette pratique n'est pas recommandée, car l'antigel doit alors être remplacé tous les deux ou trois ans. C'est que les inhibiteurs de corrosion des antigels pour véhicules automobiles perdent de leur efficacité et ne peuvent être reconstitués par la suite. Utiliser de l'eau douce ou déminéralisée enrichie d'inhibiteurs de corrosion, là où l'on ne craint pas le gel.

Thermomètres et manomètres. Ces dispositifs sont utiles pour l'équilibrage du système. Cependant, mis à part les thermomètres du côté retour et alimentation de la chaudière, aucun autre dispositif de mesure n'est requis. Installer les raccords de manomètres et les puits pour thermomètres aux endroits appropriés pour assurer le contrôle du système.

Expansion et contraction. Tenir compte des changements dans les dimensions des tuyaux au moment de faire le choix des supports et de planifier le tracé du circuit. Fournir des manchons ou un dégagement suffisant lorsque les tuyaux traversent les murs ou le plancher. Les supports doivent absorber le mouvement des tuyaux.

Laisser du jeu pour l'expansion entre la fin d'une longue canalisation ou d'une boucle et un mur. Pour un changement de température de 100 °C, l'acier se dilate de 0,12 % en longueur. Les plastiques se dilatent de 5 à 15 fois plus.

Régulateur de pression. Un régulateur de pression doit être installé sur la prise d'eau. La plupart des systèmes fonctionnent mieux sous une pression modérée d'environ 100 kPa (15 lb/po^2), car elle assure une meilleure circulation et permet d'éviter les bouchons de vapeur (comme dans le cas des systèmes d'alimentation de véhicules automobiles). Un dispositif anti-refoulement est également requis.

Systèmes à deux températures. Deux valeurs différentes de température de l'eau sont requises dans les bâtiments d'élevage. Le chauffage au niveau du plancher exige une température de l'eau de 45 °C, tandis que le chauffage du local exige une température de l'eau de 90 °C.

Il existe trois possibilités :

- Utiliser deux systèmes distincts dans les grands bâtiments comportant de multiples locaux.
- Installer un échangeur de chaleur eau-eau en ligne qui récupère la chaleur produite par le système principal pour réchauffer l'eau circulant dans le circuit du plancher à la température souhaitée.
- Utiliser un mitigeur thermostatique qui incorpore de l'eau chaude au circuit du plancher afin d'assurer le maintien de la température souhaitée.

La première méthode permet un fonctionnement entièrement indépendant de chaque système (lorsque, par exemple, le chauffage des locaux est arrêté durant l'été). Les deux dernières méthodes exigent une pompe de recirculation distincte pour le circuit de chauffage du plancher. Consulter les fournisseurs offrant ce matériel spécialisé pour obtenir des détails sur l'installation.

Chauffage à eau chaude d'un plancher conducteur

Les planchers chauffants à eau chaude sont une méthode écoénergétique de fournir de la chaleur. Ils ne peuvent servir qu'aux élevages où se pratique la conduite en bande, car toute la surface de plancher chauffée présente la même température – la régulation de la température dans des zones multiples d'un même local est coûteuse et difficile à réaliser et à gérer. Les planchers chauffants conviennent particulièrement aux porcheries-maternités où se pratique la conduite en bande et sont utilisés avec succès dans des installations de production de poulets à griller. Les animaux obtiennent la chaleur dont ils ont besoin au moment où ils en ont le plus besoin (lorsqu'ils sont au repos). Si le système de ventilation est bien conçu et géré, il permet de maintenir les locaux plus frais que ne le permet un système de chauffage à air pulsé.

Avantages d'un plancher chauffant :

- Les animaux demeurent toujours près de la température critique inférieure (TCI), ce qui optimise la prise alimentaire et l'indice de consommation.
- Les coûts de chauffage sont inférieurs à ceux des systèmes de chauffage à air pulsé classiques.
- La grande masse thermique du béton, une fois réchauffée, conserve sa chaleur, ce qui offre aux animaux un environnement très stable.

Inconvénients d'un plancher chauffant :

- Le système réagit lentement aux modifications de réglage – compte tenu de la masse thermique, le système met du temps à se réchauffer ou à se refroidir –, de sorte que le plancher chauffant ne peut réagir rapidement à de soudains changements de température.
    - La litière accumulée (poulets à griller) risque d'isoler le plancher et de nuire au transfert de chaleur aux oiseaux; de nombreux producteurs réduisent la profondeur de la litière afin d'atténuer cet inconvénient.
- Le système ne laisse aux animaux et à la volaille aucun endroit où se réfugier si la chaleur du plancher leur occasionne de l'inconfort, d'où l'importance d'une bonne régulation de la température.
- Dans les maternités, les truies n'ont aucun autre endroit où aller si le plancher est trop chaud ou trop froid pour elles. Quant aux porcelets, ils se colleront contre leur mère s'ils ont trop froid, ce qui fait alors augmenter considérablement les mortalités par écrasement.

S'assurer que le système de chauffage à eau chaude est adéquatement conçu. Les tuyaux, les espacements, les dispositifs de régulation et les planchers de béton doivent être correctement dimensionnés, installés et calibrés. Les planchers en béton (p. ex. béton à haute teneur en silice) affichent une porosité de 5 micromètres, ce qui est très faible; il faut s'assurer qu'aucun agent pathogène ne puisse survivre dans le béton. Les systèmes de chauffage à eau chaude de base sont efficaces, mais le plancher doit absolument demeurer chaud. Comme une température ambiante uniforme est essentielle à une performance optimale de tous les types de bétail et de volaille, tout écart de température du plancher du fait de tuyaux de la mauvaise grosseur ou d'une mauvaise régulation du débit d'eau chaude peut se répercuter immédiatement sur la performance des animaux d'élevage.

Température. Pour le chauffage du plancher, la température de l'eau doit être de beaucoup inférieure à celle qui est requise pour le chauffage des locaux : 40-60 °C au lieu de 90 °C (tableau 6.4). La régulation de la température d'une grande surface de plancher se fait plus facilement en réglant la température de l'eau qu'en ouvrant ou fermant l'écoulement. La régulation de la température de petites surfaces de plancher – comme pour les coins à porcelets – est rendue plus précise par l'installation d'un robinet à trois voies, d'une pompe, d'un régulateur et d'un capteur du côté sortie de la pompe (figure 6.23). De cette façon, la température de l'eau qui alimente les tuyaux installés dans le plancher est constante et peut être facilement modifiée au besoin. La température de l'eau doit être de 10 à 15 °C plus chaude que celle du plancher lorsque les tuyaux sont noyés dans le béton et d'environ 25 °C plus chaude lorsque les tuyaux sont installés dans le sable sous-jacent.

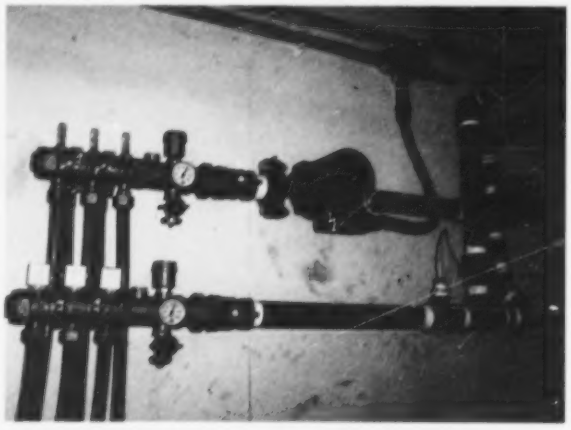


Figure 6.23 Robinets à trois voies, capteurs à immersion et pompe

Il est utile de connaître la température réelle du plancher. La façon la plus efficace de la connaître est d'utiliser un thermomètre numérique à infrarouge *(chapitre 11 – Mise en service et calibrage)*, mais on peut aussi insérer un tuyau de plastique dans le béton entre les tuyaux de chauffage. Il s'agit ensuite d'insérer dans ce tuyau un capteur de température standard relié par un fil à un thermomètre numérique pour obtenir une lecture directe de la température. Cela fonctionne mieux si le tuyau est rempli d'un fluide qui ne s'évapore pas; mais il faut pour cela que le capteur soit conçu pour résister à l'humidité; sinon, il fera rapidement défaut.

Tableau 6.4 Guide concernant les niveaux de chauffage pour diverses applications agricoles

	Température du plancher (°C)	Puissance calorifique (W/m^2)[1]
Planchers des ateliers	25-30	150-200
Porcheries	30-35	200-250
Coins à porcelets	35	250-300
Dindonneaux naissants et à griller	30-35	200-250
Plancher d'une salle de traite	30-35	200-250

[1] $W/m^2 \times 0{,}32 = BTU/(h\ pi^2)$

Tuyaux. Des tuyaux faits de plastique polybutylène, avec une barrière à la diffusion de l'oxygène, conçus pour l'eau chaude sont recommandés. Des tuyaux flexibles en cuivre sont aussi utilisés mais ils sont très coûteux par rapport aux tuyaux de plastique. Tous les raccords doivent être installés à l'extérieur du plancher au moyen de brides de serrage doubles en acier inoxydable.

Le chauffage du plancher nécessite une longue canalisation faite de tuyaux de plus petit diamètre. Il faut s'assurer que le diamètre des tuyaux convient au débit. Dans les situations complexes, obtenir de l'assistance technique pour vérifier le débit et la perte de pression. Le tableau 6.5 donne une indication du diamètre minimal des tuyaux; des tuyaux plus gros peuvent cependant être utilisés.

Tableau 6.5 Longueurs de boucles de tuyaux recommandées

Longueur des boucles de tuyaux		Diamètre des tuyaux	
100 pi	30 m	0,50 po	12 mm
200 pi	60 m	0,75 po	19 mm
325 pi	100 m	1,00 po	25 mm
500 pi	150 m	1,25 po	32 mm

L'espacement des tuyaux n'est pas un facteur important, car on peut régler les températures selon les besoins. À titre d'indication, utiliser un espacement de 12 po (300 mm) pour les petites surfaces comme les enclos ou les coins à porcelets et de 16-24 po (400-600 mm) pour les plus grandes surfaces et les planchers plus épais (p. ex. ateliers de ferme). Des tuyaux plus rapprochés permettent de réduire le débit par canalisation, ce qui est avantageux lorsque la perte de pression est minime.

Le débit d'eau devrait être plus élevé que celui qui est nécessaire au chauffage des locaux si l'on veut garder la température plus uniforme. Utiliser une chute maximale de température de 5 °C pour effectuer le calcul du débit.

Installation. Les tuyaux qui chauffent le plancher sont disposés dans une couche de sable sous le béton ou directement dans le béton (figure 6.24). Il est plus facile d'installer les tuyaux sous le béton. De plus, les tuyaux se trouvent ainsi protégés des bris (donc des fuites) provoqués par la fissuration du béton. Les tuyaux noyés dans le béton sont un peu plus efficaces. Cependant, comme le béton rétrécit en vieillissant, l'apparition de fissures est inévitable. Si les tuyaux sont noyés dans le béton, il faut absolument renforcer le béton d'acier d'armature pour limiter les fissures à des fissures capillaires. L'utilisation de béton armé est toujours indiquée, bien que moins nécessaire si le plancher comporte des joints de dilatation. Mais, attention, on ne peut compter sur des joints de dilatation pour protéger des tuyaux noyés dans le béton. Pour limiter la fissuration, la superficie de la section transversale de l'acier d'armature devrait correspondre à 0,16 % de celle de la dalle de plancher.

Figure 6.24 Installation de tuyaux d'eau chaude dans le plancher d'une pouponnière

Toujours installer un isolant sous le plancher chauffant. Le sable peut être utilisé avec succès mais il doit demeurer sec. Le béton est un piètre isolant, mais il a une énorme capacité d'absorption de la chaleur. Les installations en béton sont toujours les dernières à se réchauffer et les dernières à se refroidir; elles

réagissent lentement aux modifications de réglage des températures. Au printemps et à l'automne, lorsqu'il faut chauffer la nuit et rafraîchir les locaux le jour, il y a des problèmes qui se posent quand le plancher continue de dégager de la chaleur et que la ventilation s'intensifie pour abaisser la température dans le local devenu trop chaud ou, encore, quand la température baisse durant la soirée et qu'il faut attendre des heures avant que le béton ne se réchauffe.

Les chaudières sont conçues pour fournir de grandes quantités d'eau chaude. Lorsque la chaleur est distribuée par un réseau de tuyaux souterrains, on parvient à maintenir une température relativement constante dans un bâtiment. Dans une maternité, si une rangée de cases de parturition n'est pas utilisée, de la chaleur y parvient toujours, à moins qu'un robinet d'arrêt ne soit installé. Si un tuyau se brise, on doit parfois ouvrir le plancher pour réparer la fuite.

La qualité de l'eau influence le rendement et les besoins d'entretien de tout type de système de chauffage hydronique. Étudier la qualité de l'eau avant d'acheter un système de chauffage. L'eau dure occasionne des incrustations qui réduisent le débit et le transfert de chaleur et corrodent rapidement la chaudière de l'intérieur vers l'extérieur en moins de deux ans.

Les planchers chauffants à eau chaude exigent le recours à un système de chauffage d'appoint pour chauffer un local les jours extrêmement froids et pour le préchauffer à la température souhaitée avant l'arrivée de nouveaux animaux. Les appareils au propane à chauffage direct non ventilés ou les éleveuses à infrarouges et à roches chaudes sont couramment utilisés pour fournir cette source de chaleur additionnelle.

6.5 Régulation du chauffage

La régulation du chauffage s'effectue à partir du régulateur de ventilation principal. Lorsque les installations de chauffage sont interreliées avec les installations de ventilation, on peut réduire au minimum les pertes de chaleur. Voir le *chapitre 5 – Régulation des installations de ventilation* pour plus d'information.

6.6 Dimensionnement des appareils de chauffage pour divers types d'élevage

Les appareils de chauffage sont normalement dimensionnés en fonction du pire scénario, c.-à-d. en tenant compte des animaux les plus sensibles et des jours les plus froids de l'année. Par exemple, une exploitation avicole qui produit des poulets à griller et qui procède au démarrage de poussins en janvier lorsque la température extérieure est de -20 °C doit comporter une installation de chauffage suffisamment puissante pour maintenir la température ambiante à l'intérieur de la zone thermoneutre de ces oiseaux sensibles.

La meilleure façon de dimensionner les installations de chauffage est de réaliser une analyse complète des pertes thermiques pour le bâtiment afin de déterminer l'étendue d'éventuels déficits thermiques. Cela exige un calcul de la chaleur perdue par l'enveloppe du bâtiment et le système de ventilation utilisé pour évacuer l'humidité produite par les animaux et maintenir une bonne qualité d'air. Pour simplifier les calculs applicables à des animaux de différents gabarits logés dans un local en particulier sous diverses conditions de température extérieures, on peut utiliser des tables qui présentent les exigences de chauffage et qui donnent une idée approximative de la capacité de chauffage requise.

6.6.1 Tables de T pour le chauffage

Les tables de T procurent une valeur approximative permettant de déterminer les charges de chauffage en fonction des élevages. Dans tous les cas, il est recommandé de procéder à une analyse plus complète des pertes de chaleur.

Le tableau 6.6 propose une marche à suivre pour calculer, à l'aide des tables de T de l'*annexe D*, la puissance calorifique recommandée pour des élevages de volaille, de porcs et de veaux de race laitière.

Tableau 6.6 Calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique approximative recommandée

1.	Température de calcul extérieure			°C	
2.	Nombre d'animaux logés et BTU/h par animal de poids minimal *(annexe D)*			animaux	BTU/h-animal
3.	Nombre d'animaux logés et BTU/h par animal de poids maximal *(annexe D)*			animaux	BTU/h-animal
4.	Maximum de BTU/h pour des animaux de poids minimal à la température de calcul ____ animaux x _____ BTU/h-animal			BTU/h	
5.	Maximum de BTU/h pour des animaux de poids maximal à la température de calcul ____ animaux x _____ BTU/h-animal			BTU/h	
6.	Puissance calorifique recommandée			BTU/h	

6.6.2 Exemple de calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique recommandée pour une porcherie d'engraissement-finition

Déterminer la puissance calorifique requise pour un local abritant 200 porcs d'engraissement-finition, local où se pratique la conduite en bande (c.-à-d. les porcs pèsent chacun 55 lb (25 kg) à leur arrivée et 242 lb (110 kg) au moment où ils sont expédiés à leur poids de marché. La température de calcul extérieure est de -20 °C.

Tableau 6.7 Calcul, à l'aide d'une table de T, de la puissance calorifique approximative recommandée pour une porcherie d'engraissement-finition abritant 200 porcs

1.	Température de calcul extérieure	-20		°C	
2.	Nombre d'animaux logés et BTU/h par porc de poids minimal *(annexe D)*	200	220	animaux	BTU/h-porc
3.	Nombre d'animaux logés et BTU/h par porc de poids maximal *(annexe D)*	200	0	animaux	BTU/h-porc
4.	Maximum de BTU/h pour des animaux de poids minimal à la température de calcul **200** porcs x **220** BTU/h-porc	44 000		BTU/h	
5.	Maximum de BTU/h pour des animaux de poids maximal à la température de calcul **200** porcs x **0** BTU/h-porc	0		BTU/h	
6.	Puissance calorifique recommandée	50 000		BTU/h	

6.6.3 Analyse par programme informatique

Plusieurs programmes informatiques sont disponibles pour ceux et celles qui veulent obtenir des calculs plus détaillés et avoir la capacité d'analyser divers scénarios de simulation. FANVENT 3.0, le programme de conception des systèmes de ventilation offert (en anglais seulement) par le MAAARO, vient en aide au concepteur de systèmes de ventilation pour ces types de calculs. Aussi, le *Fundamentals Handbook*, de l'American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), donne des précisions sur les pertes et les gains thermiques. ASHRAE, 1791 Tullie Circle, N.E. Atlanta, GA 30329 *(www.ashrae.org)*.

Le concepteur qui utilise le programme FANVENT 3.0 doit y entrer toute l'information requise sur le bâtiment, les animaux et les conditions souhaitées dans le local, de même que de l'information sur les conditions météorologiques extérieures. Avec cette information, le programme calcule les pertes thermiques et les gains thermiques et détermine tout apport de chaleur éventuellement requis à diverses températures extérieures.

Exemple : Utiliser le programme FANVENT 3.0 pour revoir la conception du système de chauffage et de ventilation d'un local logeant 15 veaux. Dans ce local, qui reçoit constamment des veaux, les veaux pèsent chacun 120 lb (55 kg) à leur arrivée et 275 lb (125 kg) au moment de leur transfert vers le local abritant les génisses. Le poids moyen des veaux est de 200 lb (90 kg). Les dimensions du local sont les suivantes : 12 pi de largeur x 50 pi de longueur x 8 pi de hauteur (3,6 m x 15,2 m x 2,4 m). Le volume d'air total est de 4 800 pi^3. Les enclos sont tapissés de paille et les nettoyages sont espacés de quelques jours. La température de calcul extérieure est de -15 °C.

Données à saisir dans le programme informatique

Description	Données
Type d'animaux	veaux laitiers
Nombre et poids	**15 veaux de 200 lb**
Température de calcul intérieure	55 °F (12 °C)
Humidité relative	**60 %**
Hausse de température permise en été	3 °F (1,7 °C)
Température de calcul extérieure	**5 ° F (-15 °C)**
Humidité relative moyenne en hiver	80 %
Humidité relative moyenne en été	**55 %**
Région aux fins des données météorologiques	Sud-ouest de l'Ontario
Station	**Waterloo**
PARAMÈTRES LIÉS AU LOCAL	
Dimensions du local	longueur = 50 pi; largeur = 12 pi; hauteur = 8 pi
Coefficients de résistance thermique	**murs = R 20, plafond = R 28, plancher = R 15**
Température sous le plancher	40 °F (4,4 °C)
Fondations	**hauteur totale = 5 pi; hauteur au-dessus du sol = 1,5 pi; isolation = R 8**
Murs intérieurs	Nombre = 2
Mur 1	**L = 50 pi; écart de temp. = 45 °F; R = 20**
Mur 2	L = 12 pi; écart de temp. = 45 °F; R = 20
Portes extérieures	**Superficie totale = 40 pi^2; R = 4**
Fenêtres	Superficie totale = 20 pi^2, type = 2 carreaux
PARAMÈTRES DE VENTILATION	
Échange d'air	type d'entrée d'air = au plafond, à partir du vide sous-toit
Longueur de l'entrée d'air	**11 pi**
Vitesse d'admission de l'air	800 pi/min
Concentration de CO_2	**3 000 ppm**
Facteur vent	normal
Taux d'infiltration	**très faible**
Taux de renouvellement d'air minimal	320 p^3/min (4 renouvellements d'air/h)
Échangeur de chaleur	**Aucun**
Combustible pour le chauffage	type = propane
Coût du combustible	**0,55 $/L**
Efficacité de la combustion	80 %

Cette information est utilisée par le programme FANVENT 3.0 pour générer un certain nombre de graphiques de sortie renseignant sur les pertes thermiques et les besoins en ventilation pour ce local sous toutes les conditions de température extérieure. Les unités de mesure sont extrêmement importantes; n'utiliser que des unités impériales ou que des unités du système international. Une ventilation minimale correspondant à 4 renouvellements d'air par heure est spécifiée pour assurer une bonne qualité d'air pour ce grand volume d'air et ce faible nombre d'animaux.

Le graphique de sortie sur le bilan thermique (tableau 6.8) est établi pour une température de calcul extérieure de -15°C. Cependant, d'autres températures de calcul peuvent être insérées et un nouveau calcul peut être effectué en l'espace de quelques secondes pour déterminer les besoins calorifiques pour un autre jour de l'année. Quand on a déterminé les pertes thermiques associées à chaque composant d'un bâtiment d'élevage, on peut mieux déterminer l'incidence d'un degré différent d'isolation sur la chaleur perdue en général pour un bâtiment. De même, on peut spécifier un taux de renouvellement d'air minimal différent, et les exigences de chauffage se calculeront presque instantanément.

Tableau 6.8 Graphique de sortie sur le bilan thermique pour une température hivernale de -15 °C et un taux de renouvellement d'air minimal de 320 pi³/min

Composant	Perte thermique (BTU/h)
Murs extérieurs	1 090
Murs intérieurs	248
Plafond	1 072
Portes	500
Fenêtres	555
Fondation	798
Plancher	600
Chaleur perdue par l'enveloppe du bâtiment	4 864
Chaleur perdue par la ventilation	19 629
Pertes thermiques totales	24 493
Gains thermiques attribuables aux animaux	8 125
Bilan thermique (gains thermiques – pertes thermiques)	-16 368

Source : FANVENT 3.0 (MAARO).

Commentaire : Le tableau 6.8 indique qu'une puissance calorifique minimale de 16 368 BTU/h est nécessaire. Comme l'efficacité de la combustion est de 80 %, un débit calorifique de 20 000 BTU/h est requis pour ce local.

L'autre graphique de sortie généré porte sur les exigences de ventilation et de chauffage (tableau 6.9) pour chaque écart de température extérieure de 10 °C. Ce graphique permet de déterminer les exigences à remplir sur une année entière dans un local logeant 15 veaux. Ce graphique indique les taux de renouvellement d'air requis pour la maîtrise de l'humidité et le maintien de l'équilibre thermique dans le local. On y indique également la capacité de ventilation requise en fonction de chaque taux de renouvellement d'air minimal spécifié et de l'infiltration d'air dans le local. Lorsque la capacité de ventilation minimale spécifiée est inférieure soit au taux assurant la maîtrise de l'humidité soit au taux assurant l'équilibre thermique, la capacité de ventilation recommandée correspond à la valeur la plus haute, diminuée du taux d'infiltration. L'ouverture minimale de l'entrée d'air requise est calculée et inscrite pour chaque taux de

renouvellement d'air recommandé. Enfin, le graphique indique, pour chaque température extérieure, l'apport de chaleur additionnel requis pour maintenir les conditions ambiantes souhaitées et assurer l'évacuation du débit d'air recommandé.

Ce graphique indique : une capacité de ventilation basée sur quatre renouvellements d'air par heure allant d'une valeur minimale de 320 pi^3/min par temps froid à une valeur maximale par temps chaud de 2 299 pi^3/min; et une ouverture de l'entrée d'air allant de 0,4 à 3,1 po pour maintenir une bonne circulation de l'air dans le local. Si une vitesse de l'air inférieure est spécifiée, on peut facilement recalculer l'ouverture de l'orifice d'admission en fonction de la plus grande ouverture requise.

Si le graphique relatif au bilan thermique ne reflétait qu'une seule température extérieure, ce graphique-ci indique les besoins calorifiques pour toutes les températures extérieures. Si une température extérieure plus froide est prévue, utiliser un système de chauffage de débit calorifique plus élevé. De même, un jour plus doux n'exigera pas autant de chaleur. Ces résultats illustrent l'importance que revêt l'utilisation d'un chauffage à deux paliers ou à vitesse variable pour répondre aux besoins calorifiques sans avoir à utiliser un système surdimensionné durant la majeure partie de l'année. Même si elle n'est pas directement indiquée sur ce graphique, la température du déficit thermique, qui est de 4,4 °C (40 °F) en l'occurrence, est calculée par le programme informatique.

6.6.4 Avertissement de surchauffe

La surchauffe abaisse le degré d'humidité d'un local de manière importante. L'hiver peut compromettre gravement la santé des voies respiratoires des animaux. Une trop faible humidité et un air sec favorisent l'accumulation d'agents pathogènes et assèchent les voies respiratoires. Cela constitue une combinaison très malsaine, puisque les agents pathogènes ont une plus grande facilité à traverser la paroi des voies respiratoires et à entrer dans le courant sanguin. Par ailleurs, la surchauffe augmente de beaucoup la facture d'énergie. Un bon dimensionnement des appareils de chauffage et une régulation appropriée de ceux-ci permettent de prévenir la plupart des problèmes de surchauffe.

Tableau 6.9 Graphique de sortie sur les exigences de ventilation et de chauffage pour un local abritant des veaux

Temp.	Temp.	Taux de renouvellement d'air (pi^3/min)				Ouverture de l'entrée d'air (po)	Chaleur requise (BTU/h)
(°C)	(°F)	Maîtrise de l'humidité	Maîtrise de la température	Minimum requis	Capacité de ventilation		
-34	-30	104	6	360	320	0,4	33 099
-29	-20	106	16	360	320	0,4	28 346
-23	-10	110	30	360	320	0,4	23 577
-18	0	116	48	360	320	0,4	18 781
-15	5	120	60	360	320	0,4	16 368
-12	10	127	75	360	320	0,4	13 943
-7	20	149	118	360	320	0,4	9 042
-1	30	206	202	360	320	0,4	4 046
4	40	213	360	360	320	0,4	0
10	50	428	1 261	1 261	1 221	1,6	0
16	60	522	2 171	2 171	2 131	2,8	0
21	70	525	2 198	2 198	2 158	2,9	0
27	80	554	2 268	2 268	2 228	3,0	0
32	90	562	2 339	2 339	2 299	3,1	0

Source : FANVENT 3.0, MAARO.

CONSEIL ÉCOÉNERGÉTIQUE : En optimisant la quantité d'énergie requise pour maintenir des résultats environnementaux appropriés, on parvient à diminuer la facture d'énergie et à offrir un environnement plus sain aux animaux. Une chaleur excessive rend l'air trop sec, et ceci augmente la sécheresse des voies respiratoires des animaux et favorise la prolifération d'organismes pathogènes.

Table des matières

7. Systèmes de refroidissement 155

7.1 Introduction 155
7.2 Température critique supérieure et stress thermique 156
7.3 Indices température-humidité relative 156
7.4 Systèmes de refroidissement 157
7.5 Refroidissement à l'air 158
7.5.1 Refroidissement avec entrées d'air 158
7.5.2 Refroidissement avec ventilateurs de circulation 159
7.5.3 Refroidissement par ventilation longitudinale 162
7.6 Refroidissement à l'eau 168
7.6.1 Asperseurs et goutteurs 169
7.6.2 Brumisateurs 170
7.6.3 Commandes des systèmes de refroidissement à l'eau 171
7.6.4 Tapis humides 172
7.7 Exemples de réglage 172
7.8 Résumé sur les systèmes de refroidissement à l'eau et à l'air 173
7.9 Étables laitières « à profil bas » ventilées transversalement 176

7. Systèmes de refroidissement

7.1 Introduction

La fonction de refroidissement est un aspect crucial de tout système de ventilation utilisé dans un élevage en locaux fermés. Pour offrir un environnement confortable aux animaux, il faut faire plus que régulariser la température du local qui les abrite. L'animal dont la température corporelle est maintenue à l'intérieur de la plage délimitée par sa température critique supérieure (TCS) et sa température critique inférieure (TCI) maintient une productivité et une capacité de reproduction normales. Lorsque la TCS d'un animal est dépassée, on commence à observer chez lui une diminution du gain de poids ou de la productivité. Si l'environnement s'échauffe davantage, la productivité continue à baisser jusqu'à devenir nulle.

Quatre types de transfert thermique permettent au bétail et à la volaille de perdre de la chaleur.

Convection

La convection est le transfert de chaleur entre l'animal et l'air ambiant qui résulte du mouvement de l'air. L'air calme possède un coefficient de transfert thermique moins élevé qu'une masse d'air se déplaçant à haute vitesse.

Évaporation

L'humidité relative (HR) de l'air ambiant a une incidence sur le confort et le bien-être de l'animal, car elle abaisse le taux d'évaporation observé dans ses voies respiratoires. L'eau corporelle est transformée en vapeur d'eau dans les poumons des animaux. Par la suite, la vapeur d'eau expirée libère de la chaleur à raison de 1 000 BTU/lb d'eau vaporisée. Or, la capacité d'évaporation diminue au fur et à mesure que l'HR et la température de l'air ambiant s'accroissent.

Rayonnement

Le rayonnement correspond à l'échange d'énergie thermique causé par les ondes électromagnétiques. Ces ondes transmettent l'énergie thermique du soleil aux objets qui se trouvent sur leur passage. L'effet du rayonnement est ressenti par les animaux, car eux-mêmes autant que leur environnement sont constamment à la fois source et cible du rayonnement. Le rayonnement ajoute à l'inconfort des animaux à partir du moment où ceux-ci et le milieu qui les entoure s'échauffent.

On compte parmi les sources de rayonnement :

- le soleil dont les rayons atteignent directement les animaux en plein air, en l'absence d'ombrage;
- les autres animaux à proximité immédiate – p. ex. dans l'aire d'attente remplie à capacité à proximité d'une salle de traite ou dans les enclos où sont entassés les porcs de finition avant leur expédition;
- les éléments qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment (cloisons, distributeurs d'aliments, planchers, etc.) qui, lorsque l'air s'échauffe sous l'effet d'une élévation des températures, s'échauffent également;
- le plafond/toit et les murs qui, s'ils sont mal isolés, voient leur température augmenter au-dessus de la température ambiante sous l'effet des rayons du soleil. Une ventilation adéquate du vide sous-toit est nécessaire pour y réduire au minimum l'accumulation d'air chaud et éviter un transfert de chaleur subséquent à travers l'isolant jusqu'au plafond intérieur.

Conduction

La conduction est le transfert de chaleur qui se produit au contact de deux corps de températures différentes. On observe ce phénomène lorsqu'une vache ou un porc est couché sur du béton et que la chaleur du corps de l'animal est transmise au béton plus frais.

Lorsque la surface où est couché l'animal s'échauffe trop, l'animal souffre de la chaleur. Ainsi, en est-il de la litière pour volailles, qui génère de la chaleur et conserve la chaleur. Si cela est souhaitable pendant l'hiver, il reste que, pendant l'été, cette litière devient inconfortable, parce que trop chaude.

7.2 Température critique supérieure et stress thermique

Lorsque le temps se réchauffe, l'augmentation du taux de renouvellement d'air par la ventilation contribue à réduire les effets d'une élévation des températures sur le bétail et la volaille. Après l'atteinte d'un certain degré température ambiante, on ne peut pratiquement plus soulager les animaux de la chaleur par un renforcement de la ventilation. La production commence à diminuer et les manifestations de stress thermique apparaissent. Un signe précoce de stress thermique est une prise alimentaire réduite, alors que le corps tente de régulariser sa température interne. Si la température continue d'augmenter, d'autres effets apparaissent : les animaux deviennent haletants, ils se roulent dans le fumier ou d'autres zones humides (selon l'espèce), etc. Si l'on ne parvient pas à soulager l'animal, dans les cas extrêmes, celui-ci risque de mourir. Aucune espèce ne résiste aux effets du stress thermique. La figure 7.1 montre les zones thermoneutres d'un certain nombre d'animaux d'élevage, et leurs températures critiques inférieure et supérieure.

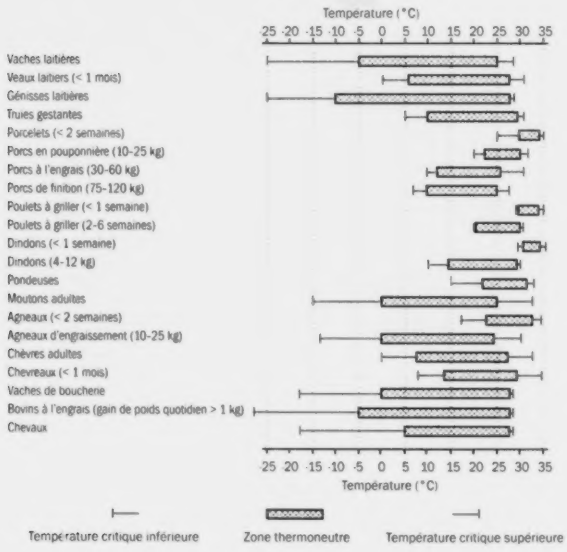


Figure 7.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure

Source : American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. *Handbook : Heating, Ventilating and Air Conditioning Applications*, chapitre 22, 2007.

7.3 Indices température-humidité relative

Une humidité relative à la hausse nuit à la capacité du bétail et de la volaille à perdre de la chaleur par évaporation. La perte de chaleur qui se produit durant l'été dépend fortement de l'humidité relative et de la température. La combinaison température et humidité est utilisée par les météorologues pour calculer la valeur humidex, laquelle correspond au degré de confort ou de stress thermique ressenti par l'homme. Les spécialistes de l'étude des animaux ont adopté cette même approche et élaboré des indices température-humidité pour divers types de bétail et de volaille. Les valeurs obtenues sont classées en trois zones de stress thermique : une zone d'alerte, une zone de danger et une zone d'urgence. Les figures 7.2 à 7.5 illustrent ces zones de stress thermique et indiquent quand elles se manifestent selon la combinaison température-humidité.

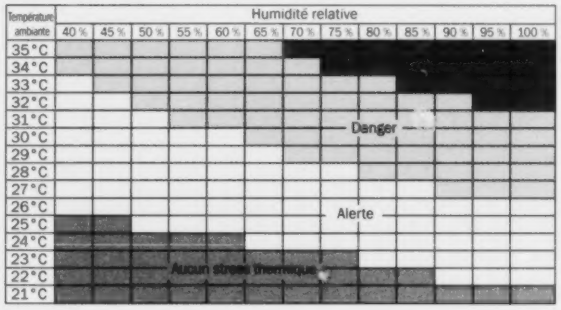


Figure 7.2 Indice de stress thermique pour des bovins

Source : Iowa State University.

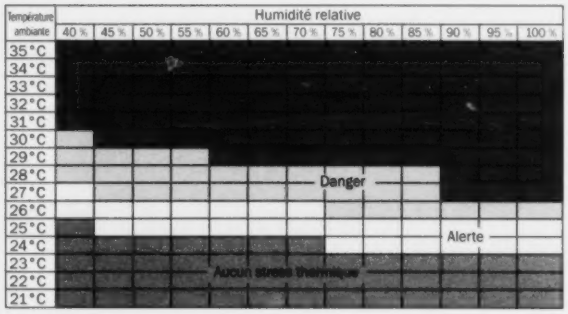


Figure 7.3 Indice de stress thermique pour des porcs d'engraissement-finition

Source : Iowa State University.

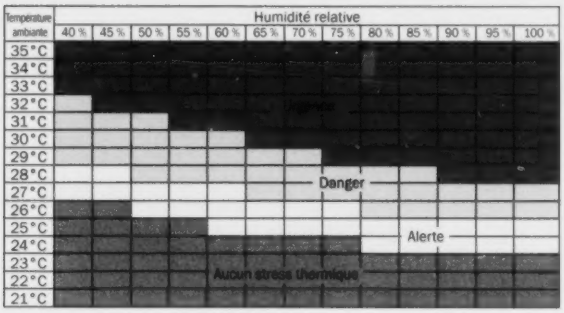


Figure 7.4 Indice de stress thermique pour des poules pondeuses

Source : Iowa State University.

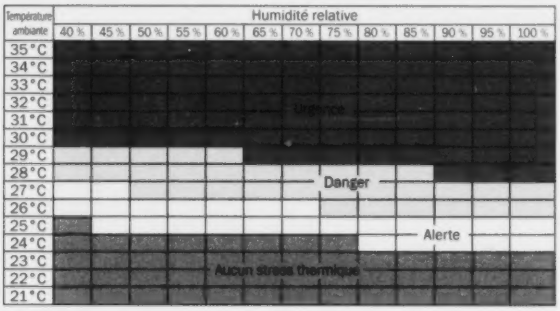


Figure 7.5 Indice de stress thermique pour des dindes de 15 semaines

Source : Iowa State University.

Calcul du stress thermique chez les bovins laitiers

Le Dr Joe Harner, à la Kansas State University a élaboré une méthode acceptée de calcul du stress thermique chez les bovins laitiers. Il existe d'autres formules légèrement différentes, mais les résultats sont semblables. Comme la perte de chaleur dépend de la température et de l'humidité relative, un indice température-humidité (ITH) a été élaboré pour indiquer le degré de stress thermique auquel une vache est exposée. Même s'il y a certaines variantes dans les chiffres utilisés par les chercheurs, l'ITH suppose généralement qu'une vache est exposée aux divers degrés de stress thermique suivants :

< 72	stress thermique faible
72-79	stress thermique léger
80-89	stress thermique moyen
> 90	stress thermique grave

En °F

$$ITH = Tts - (0{,}55 - 0{,}55 \times HR/100) \times (Tts - 58)$$

En °C

$$ITH = 1{,}8 \times Trs - (1 - HR) \times (Tts - 14{,}3) + 32$$

où

ITH = indice température-humidité
Tts = température du thermomètre sec à l'extérieur
HR = humidité relative

Par exemple, une vache logée dans une étable à une température ambiante de 31 °C et à une humidité relative de 65 % serait exposée au degré de stress thermique suivant :

$$ITH = 1{,}8 \times Trs - (1 - HR) \times (Tts - 14{,}3) + 32$$
$$ITH = 1{,}8 \times 31 - (1 - 0{,}65) \times (31 - 14{,}3) + 32$$
$$ITH = 55{,}8 - (7{,}5) + 32$$
$$ITH = 87{,}8 - 7{,}5$$
$$ITH = 80{,}3$$

Selon le graphique de la figure 7.2, *Indice de stress thermique pour des bovins*, cette vache se trouverait dans la zone de danger, ce qui justifierait la mise en marche du système de refroidissement.

7.4 Systèmes de refroidissement

Il existe des méthodes visant à réduire le stress thermique et à améliorer le confort des animaux de manière à maintenir leur prise alimentaire et leur productivité en général. En voici deux :

- le refroidissement à l'air;
- le refroidissement à l'eau.

Une troisième méthode existe également, qui fait appel à un système de refroidissement mécanique (climatisation), mais elle est rarement utilisée, car pour la plupart des bâtiments d'élevage, elle s'assortit de coûts d'installation, d'entretien et d'exploitation élevés. La climatisation est utilisée dans les installations de recherche et dans certaines exploitations commerciales d'élevage de verrats reproducteurs.

7.2 Température critique supérieure et stress thermique

Lorsque le temps se réchauffe, l'augmentation du taux de renouvellement d'air par la ventilation contribue à réduire les effets d'une élévation des températures sur le bétail et la volaille. Après l'atteinte d'un certain degré température ambiante, on ne peut pratiquement plus soulager les animaux de la chaleur par un renforcement de la ventilation. La production commence à diminuer et les manifestations de stress thermique apparaissent. Un signe précoce de stress thermique est une prise alimentaire réduite, alors que le corps tente de régulariser sa température interne. Si la température continue d'augmenter, d'autres effets apparaissent : les animaux deviennent haletants, ils se roulent dans le fumier ou d'autres zones humides (selon l'espèce), etc. Si l'on ne parvient pas à soulager l'animal, dans les cas extrêmes, celui-ci risque de mourir. Aucune espèce ne résiste aux effets du stress thermique. La figure 7.1 montre les zones thermoneutres d'un certain nombre d'animaux d'élevage, et leurs températures critiques inférieure et supérieure.

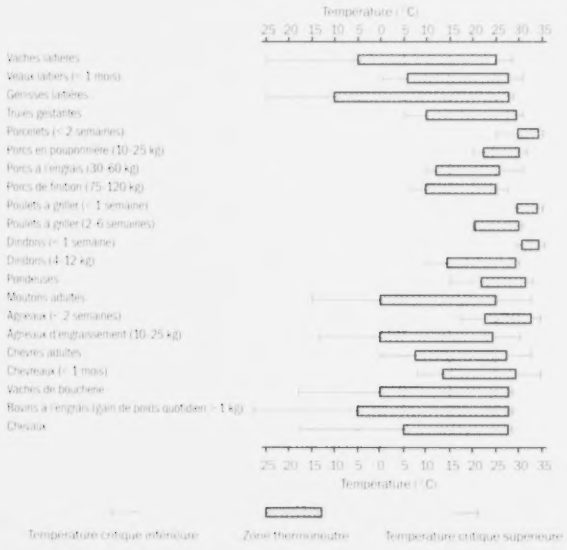


Figure 7.1 Zones thermoneutres de divers animaux d'élevage et leurs températures critiques inférieure et supérieure

Source : American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. *Handbook : Heating, Ventilating and Air Conditioning Applications*, chapitre 22, 2007.

7.3 Indices température-humidité relative

Une humidité relative à la hausse nuit à la capacité du bétail et de la volaille à perdre de la chaleur par évaporation. La perte de chaleur qui se produit durant l'été dépend fortement de l'humidité relative et de la température. La combinaison température et humidité est utilisée par les météorologues pour calculer la valeur humidex, laquelle correspond au degré de confort ou de stress thermique ressenti par l'homme. Les spécialistes de l'étude des animaux ont adopté cette même approche et élaboré des indices température-humidité pour divers types de bétail et de volaille. Les valeurs obtenues sont classées en trois zones de stress thermique : une zone d'alerte, une zone de danger et une zone d'urgence. Les figures 7.2 à 7.5 illustrent ces zones de stress thermique et indiquent quand elles se manifestent selon la combinaison température-humidité.

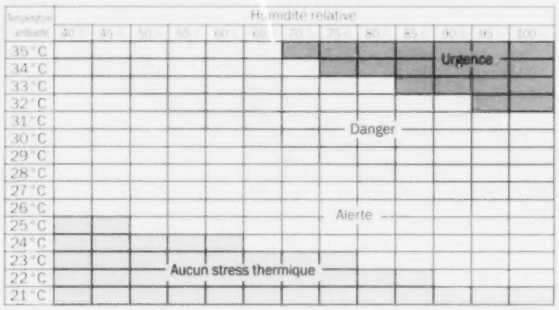


Figure 7.2 Indice de stress thermique pour des bovins

Source : Iowa State University.

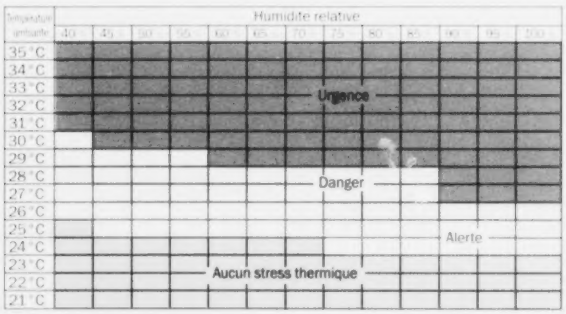


Figure 7.3 Indice de stress thermique pour des porcs d'engraissement-finition

Source : Iowa State University.

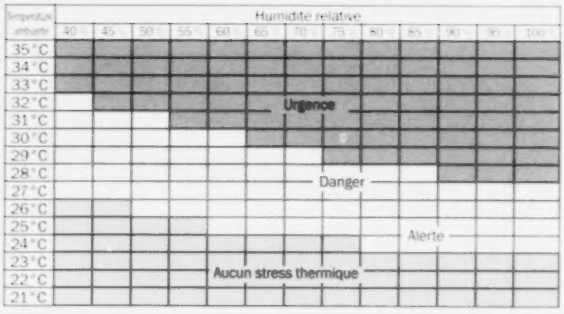


Figure 7.4 Indice de stress thermique pour des poules pondeuses

Source : Iowa State University.

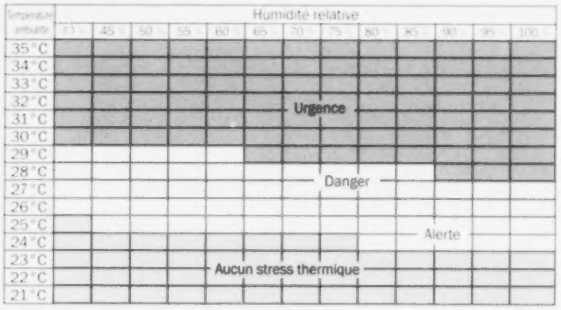


Figure 7.5 Indice de stress thermique pour des dindes de 15 semaines

Source : Iowa State University.

Calcul du stress thermique chez les bovins laitiers

Le Dr Joe Harner, à la Kansas State University a élaboré une méthode acceptée de calcul du stress thermique chez les bovins laitiers. Il existe d'autres formules légèrement différentes, mais les résultats sont semblables. Comme la perte de chaleur dépend de la température et de l'humidité relative, un indice température-humidité (ITH) a été élaboré pour indiquer le degré de stress thermique auquel une vache est exposée. Même s'il y a certaines variantes dans les chiffres utilisés par les chercheurs, l'ITH suppose généralement qu'une vache est exposée aux divers degrés de stress thermique suivants :

< 72	stress thermique faible
72-79	stress thermique léger
80-89	stress thermique moyen
> 90	stress thermique grave

En °F

$$ITH = Tis - (0{,}55 - 0{,}55 \times HR/100) \times (Tis - 58)$$

En °C

$$ITH = 1{,}8 \times Tis - (1 - HR) \times (Tis - 14{,}3) + 32$$

où

ITH = indice température-humidité
Tis = température du thermomètre sec à l'extérieur
HR = humidité relative

Par exemple, une vache logée dans une étable à une température ambiante de 31 °C et à une humidité relative de 65 % serait exposée au degré de stress thermique suivant :

$$ITH = 1{,}8 \times Tis - (1 - HR) \times (Tis - 14{,}3) + 32$$
$$ITH = 1{,}8 \times 31 - (1 - 0{,}65) \times (31 - 14{,}3) + 32$$
$$ITH = 55{,}8 - (7{,}5) + 32$$
$$ITH = 87{,}8 - 7{,}5$$
$$ITH = 80{,}3$$

Selon le graphique de la figure 7.2, *Indice de stress thermique pour des bovins*, cette vache se trouverait dans la zone de danger, ce qui justifierait la mise en marche du système de refroidissement.

7.4 Systèmes de refroidissement

Il existe des méthodes visant à réduire le stress thermique et à améliorer le confort des animaux de manière à maintenir leur prise alimentaire et leur productivité en général. En voici deux :

- le refroidissement à l'air;
- le refroidissement à l'eau.

Une troisième méthode existe également, qui fait appel à un système de refroidissement mécanique (climatisation), mais elle est rarement utilisée, car pour la plupart des bâtiments d'élevage, elle s'assortit de coûts d'installation, d'entretien et d'exploitation élevés. La climatisation est utilisée dans les installations de recherche et dans certaines exploitations commerciales d'élevage de verrats reproducteurs.

7.5 Refroidissement à l'air

Le refroidissement à l'air nécessite le déplacement de grands volumes d'air dans un bâtiment. La vitesse de l'air effective au niveau des animaux est ce qui produit l'effet de refroidissement. C'est ce qu'on appelle l'effet du refroidissement éolien. Le tableau 7.1 indique le changement de température ressenti par un porc lorsque de l'air est projeté directement sur lui.

Tableau 7.1 Effets de la vitesse de l'air sur la température ressentie par des porcs

Vitesse de l'air (pi/min)	Baisse de température ressentie (°C)
30	-4
90	-7
300	-10

Source : McFarlane, J. M. *How Do Your Pigs Really Feel? Effective Temperature for Pigs*. Animal Environment Specialists, Inc., Marysville, Ohio, 2000.

Il existe plusieurs types de systèmes de refroidissement à l'air et de nombreux systèmes hybrides, notamment :

- le système avec entrées d'air;
- le système avec ventilateurs de circulation;
- le système de ventilation longitudinale.

7.5.1 Refroidissement avec entrées d'air

Le système de refroidissement avec entrées d'air offre d'énormes avantages et constitue la première étape dans le refroidissement additionnel des bâtiments d'élevage. La méthode la plus facile et la plus économique utilise des entrées d'air et un système de distribution de l'air pour projeter de l'air à haute vitesse vers les zones occupées par le bétail ou la volaille. La vitesse de calcul normale à la sortie de l'entrée d'air est de 500-1 000 pi/min (2,5-5,0 m/s). Plus les entrées d'air sont proches des animaux au sol ou en cage, moins grande est la vitesse de l'air requise à la sortie de l'entrée d'air pour obtenir un effet de refroidissement. Il en est ainsi parce que la vitesse de l'air chute à mesure qu'on s'éloigne d'une entrée d'air. Ce principe est valable pour tous les types d'entrées d'air. De façon générale, pour un plafond de 7 pi (2,1 m), la vitesse d'admission de l'air requise peut être de 500 pi/min (2,5 m/s), tandis que pour un plafond de 10 pi (3 m), elle est de près de 1 000 pi/min (5 m/s).

Pour que ce type de système de refroidissement fonctionne correctement, il faut, après avoir fixé son choix sur un système de ventilation, bien choisir les entrées d'air et l'actionneur des entrées d'air (de même que l'étendue d'action de l'actionneur). Les entrées d'air doivent être conçues pour s'abaisser grandes ouvertes de sorte que l'air soit projeté directement vers les aires occupées par les animaux.

Commande des systèmes de refroidissement avec entrées d'air

Concevoir les systèmes de commande des entrées d'air hybrides en prenant soigneusement en considération les effets recherchés et les températures à atteindre pour réaliser un équilibre. Voici deux exemples de commandes possibles :

- **Commande des entrées d'air modulaires.** Pour éviter la projection prématurée d'une masse d'air à haute vitesse sur les animaux, ce qui causerait un effet de refroidissement, entraînerait du gaspillage d'aliments et occasionnerait aux animaux des problèmes de santé dus à une baisse de température excessive et mal à propos, empêcher les entrées d'air de s'ouvrir trop grandes trop rapidement. Cette fonction peut être intégrée à certains dispositifs de commande; l'entrée d'air est alors programmée pour s'ouvrir (figure 7.6) et créer un courant d'air à une température prédéfinie. Une autre possibilité consiste à installer un interrupteur marche-arrêt commandé par la température qui asservit l'actionneur et force l'ouverture maximale des entrées d'air à la température de consigne souhaitée. Si cette fonction est activée, il faut parfois recalibrer l'actionneur ou vérifier les réglages du régulateur qui le commande.
- **Commande continue d'entrées d'air murales doubles.** Dans ce système (figure 7.7), il y a deux panneaux rabattables qui servent d'entrées d'air. Par temps froid et par temps chaud, l'un dirige tout l'air entrant le long du plafond, tandis que, par temps chaud, l'autre dirige l'air vers le bas du mur, directement dans les aires occupées par les animaux.

Figure 7.6 Entrées d'air projetant l'air vers les cases (porcs)

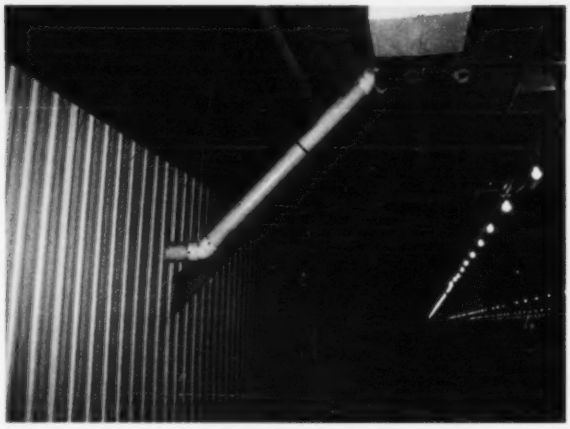


Figure 7.7 Système d'entrées d'air sur les deux murs latéraux

7.5.2 Refroidissement avec ventilateurs de circulation

Au lieu de compter uniquement sur les entrées d'air pour assurer la circulation de l'air, on peut ajouter des ventilateurs de circulation. Ceux-ci augmentent considérablement la vitesse de l'air sur une grande surface. Ces ventilateurs ont l'avantage supplémentaire de permettre le mélange de l'air en hiver, créant ainsi une température et une qualité de l'air plus uniformes dans le local. Il est recommandé de faire fonctionner les ventilateurs à basses vitesses durant l'hiver et de les doter de moteurs à vitesse variable et de dispositifs de commande appropriés.

Il n'existe à l'heure actuelle aucune norme de performance qui permette d'évaluer les ventilateurs à circulation horizontale, sauf pour ce qui est du débit d'air total. Celui-ci est déterminé par la capacité mécanique des ventilateurs (en pieds cubes par minute [pi^3/min]) et par l'efficacité de l'appareil selon les essais réalisés par le laboratoire BESS.

Les ventilateurs de circulation font circuler l'air selon un schéma de circulation :

- de forme tubulaire (figure 7.8), auquel cas l'air est projeté assez loin; ou
- en forme de cône (figure 7.9), auquel cas l'air est projeté rapidement vers le sol, mais pas aussi loin.

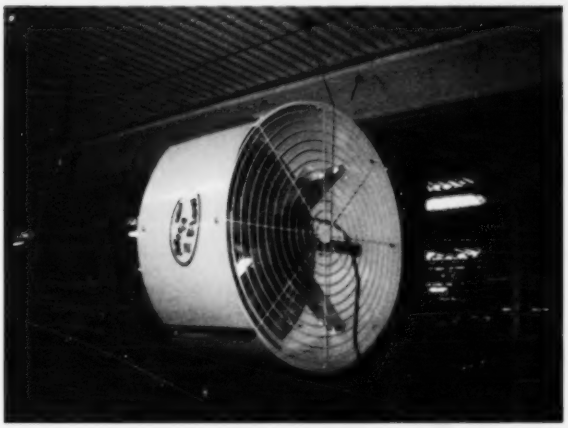


Figure 7.8 Ventilateur de recirculation axial projetant l'air sur de grandes distances

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Utiliser des ventilateurs de circulation conçus pour cette application et non des ventilateurs d'extraction. Les ventilateurs de circulation déplacent de plus grands volumes d'air. Ils fonctionnent sans être soumis à la pression statique et sont très efficaces sur le plan énergétique. Les nouveaux ventilateurs à faible vitesse et à fort volume ou ventilateurs HVLS *(high volume low speed)*, sont jusqu'à huit fois plus éconergétiques que les ventilateurs brasseurs d'air et déplacent l'air dix fois plus efficacement que les ventilateurs muraux.

Figure 7.9 Ventilateur de recirculation de type brasseur d'air avec grille de protection dispersant l'air rapidement

Dans la plupart des poulaillers, on utilise des ventilateurs de circulation qui sont disposés selon un circuit en forme de piste de course autour du local ou qui projettent l'air dans le sens de la largeur du local. Certains exploitants inclinent ces ventilateurs vers le bas ou les installent à un plus bas niveau de manière à créer un jet d'air plus vigoureux à la hauteur des oiseaux par temps très chaud. Un mot d'avertissement : lorsqu'on utilise des ventilateurs de circulation par temps très chaud, il faut évacuer rapidement l'air mélangé du bâtiment pour ne pas que les conditions existantes s'aggravent. En effet, les ventilateurs de circulation soulèvent l'air chaud et humide se trouvant au niveau de la litière, créant ainsi un environnement plus chaud et plus humide dans l'ensemble du bâtiment.

La plupart des étables laitières et de nombreux locaux abritant des dindons à l'engrais bénéficient d'une ventilation naturelle et demeurent raisonnablement frais lorsque le vent souffle suffisamment pour y faire circuler l'air. Par temps très chaud et humide, comme il n'y a pas assez de vent pour assurer une circulation d'air adéquate dans le bâtiment et le garder frais, il faut installer de grands ventilateurs de circulation pour créer le mouvement d'air nécessaire.

Dans une étable à stabulation libre, tête-à-tête, à deux rangées, le meilleur schéma de ventilation consiste à placer une rangée de ventilateurs au-dessus du passage à proximité du distributeur d'aliments et une autre au-dessus de la rangée de stalles libres. Installer des ventilateurs de circulation et les faire fonctionner à pleine vitesse pour maintenir une circulation d'air raisonnable. Les placer à des intervalles allant jusqu'à dix fois le diamètre des ventilateurs. Par exemple, installer des ventilateurs de 3 pi (1 m) de diamètre tous les 30 pi (9 m), et des ventilateurs de 4 pi (1,2 m) tous les 40 pi (12 m) sur la longueur du bâtiment. Les figures 7.10a et 7.10b montrent un exemple de disposition de ventilateurs de circulation dans une étable à stabulation libre.

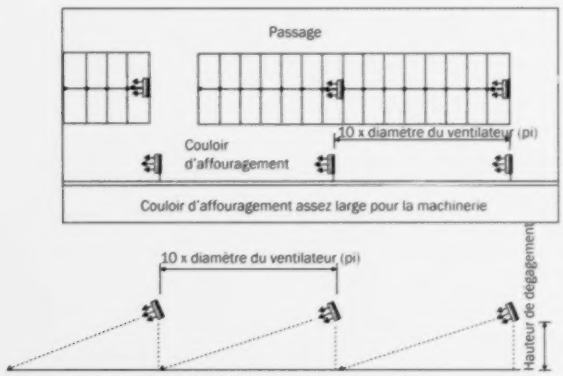


Figure 7.10a Disposition des ventilateurs brasseurs d'air ou des ventilateurs avec cadre dans une étable laitière à stabulation libre

Source : *Dairy Housing and Equipment Systems, Managing and Planning for Profitability*. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, NRAES-129.

Figure 7.10b Disposition de ventilateurs de circulation dans une étable laitière à stabulation libre

Figure 7.11 Ventilateurs HVLS dans une étable laitière à stabulation libre

Utiliser des ventilateurs à faible vitesse et à fort volume ou ventilateurs HVLS *(high volume low speed)* (figure 7.11) dans les bâtiments au plafond haut (>15 pi [4,5 m]), comme dans les étables laitières à stabulation libre, pour créer le mouvement d'air nécessaire. Ces ventilateurs sont offerts selon des diamètres de 8-24 pi (2,4-7,3 m). Chaque ventilateur déplace de grands volumes d'air à très basses vitesses, ce qui permet l'utilisation d'un moteur d'entraînement relativement petit. Avec ce schéma de circulation d'air circulaire, la vitesse de l'air à la hauteur des animaux diminue à mesure que progresse le mouvement de l'air vers l'extérieur et se situe entre 100 et 300 pi/min (0,5-1,5 m/s) sur une très grande surface (figure 7.12). Utiliser des ventilateurs à vitesse unique ou des ventilateurs à vitesse variable permettant de ralentir la vitesse en fonction du débit d'air voulu. Ces ventilateurs sont extrêmement efficaces sur le plan énergétique, leur taux d'efficacité énergétique pouvant aller jusqu'à 80 pi^3/min/W (pieds cubes d'air/minute/watt d'énergie électrique consommé). Par comparaison, le taux d'efficacité énergétique de ventilateurs d'extraction très éconergétiques actuellement sur le marché est d'environ 25 pi^3/min/W. Les pales de nouvelle conception des ventilateurs HVLS permettent d'accroître la vitesse de l'air et l'efficacité énergétique.

Installer des ventilateurs de 20-24 pi (6,0-7,3 m) de diamètre en les séparant d'une distance de 50 à 60 pi (15 m-18 m) au centre d'une étable à stabulation libre. Les ventilateurs tournent à 50 tr/min et déplacent plus de 100 000 pi^3 d'air/min. Une installation conforme au manuel d'utilisation du fabricant est essentielle – câble protégé, mise à la terre et emplacement approprié du dispositif de commande – sinon, le ventilateur ne fonctionnera pas de manière efficace ni éconergétique.

Un dispositif de commande avec mécanisme d'entraînement à fréquence variable peut créer des harmoniques qui interfèrent avec d'autres dispositifs électroniques utilisés à la ferme, ce qui peut entraîner des problèmes de tension. Un filtre peut être utilisé pour réduire les niveaux d'harmoniques et atténuer les problèmes de tension, jusqu'à les faire disparaître. Un filtre de ce genre est intégré à de nombreux dispositifs de commande avec mécanisme d'entraînement à fréquence variable. Si ce n'est pas le cas, installer un filtre sur chaque dispositif de régulation doté d'un tel mécanisme.

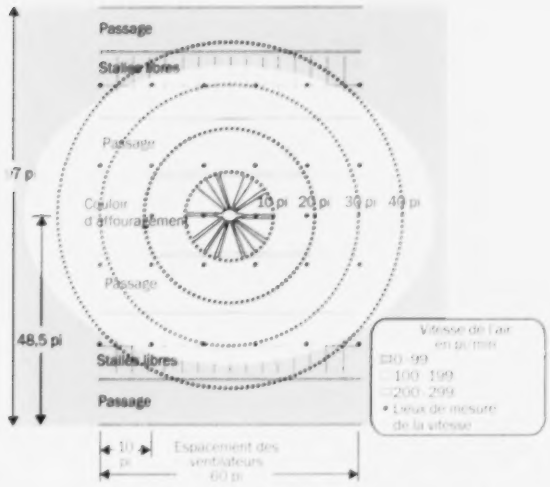


Figure 7.12 Vitesses composites de l'air projeté par un ventilateur HVLS de 20 pi de diamètre installé à 16 pi au-dessus d'un couloir d'affouragement à une distance de 60 pi des autres appareils

Source : , D.W. Kammel, M.E. Raabe, J.J. Kappelman, *Design of High Volume Low Speed Fan Supplemental Cooling system in Dairy Free Stall Barns*, Fifth International Dairy Housing Conference, Fort Worth, Texas, 29-31 janvier 2003.

Commande des ventilateurs de circulation

Les régulateurs de ventilation plus évolués et plus coûteux comportent des fonctions qui permettent d'activer et de désactiver des ventilateurs de circulation intégrés. On trouve sur le marché de nombreux régulateurs qui permettent d'obtenir le niveau de régulation souhaité. Différentes méthodes permettant aussi d'améliorer sans cesse la régulation.

- **Commande marche-arrêt automatique.** Option qui assure une commande des ventilateurs basée sur la température. En dessous de la température de consigne, les ventilateurs s'arrêtent; au dessus de la température de consigne, ils sont mis en marche. Il s'agit d'une méthode peu coûteuse, qui produit un effet de refroidissement soudain. Cependant, la vitesse de circulation de l'air est souvent trop élevée et non souhaitable.
- **Commande manuelle de variation de la vitesse.** Option qui permet à l'exploitant de mettre manuellement en marche et à l'arrêt un ventilateur et de régler manuellement la vitesse du moteur et la vitesse de circulation de l'air résultante.
- **Commande marche-arrêt automatique et commande manuelle de variation de la vitesse combinées.** Option qui met automatiquement en marche et à l'arrêt un ventilateur au-dessus ou en dessous de la température de consigne et qui permet à l'exploitant de d'utiliser une commande manuelle pour régler la vitesse.
- **Commande marche-arrêt automatique et commande automatique de variation de la vitesse combinées.** Option assurant un degré optimal de commande et offrant beaucoup de souplesse à l'exploitant dans le choix des réglages. Ces commandes font appel à une température de consigne, sous laquelle le ventilateur s'arrête (p. ex. bâtiment très frais). Au point de consigne, le ventilateur fonctionne à une vitesse minimale prédéfinie. Si la température du local augmente, la vitesse du ventilateur augmente proportionnellement jusqu'à l'atteinte d'un maximum prédéfini par l'exploitant.

7.5.3 Refroidissement par ventilation longitudinale

La ventilation longitudinale a été mise au point à la fin des années 1960 dans le sud-ouest des États-Unis. À ce moment-là, elle était mise en œuvre avec un système de refroidissement par évaporation faisant appel à des tapis humides *(section 7.6 – Refroidissement à l'air)*. La ventilation longitudinale assure une vitesse de circulation de l'air relativement élevée dans l'ensemble du bâtiment, tous les ventilateurs d'extraction étant situés dans un des murs d'extrémité et toutes les entrées d'air dans le mur opposé (figures 7.13 et 7.14). Il s'agit d'installer des ventilateurs de puissance suffisante pour renouveler l'air chaque minute par temps très chaud en maintenant une vitesse de l'air moyenne sur toute la longueur du bâtiment. Les bâtiments longs et étroits à plafond bas sont ceux qui profitent le plus de ce type de ventilation et au coût le plus faible.

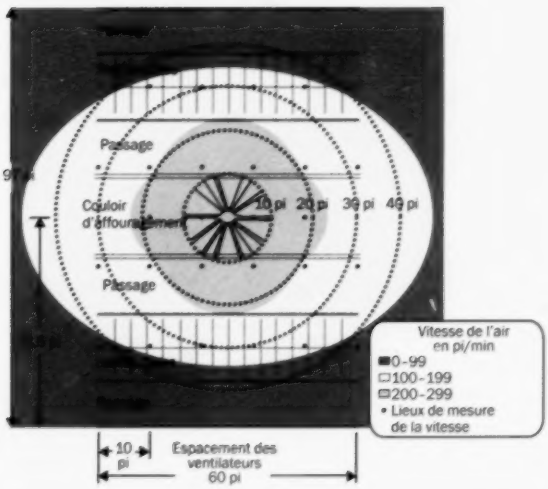


Figure 7.12 Vitesses composites de l'air projeté par un ventilateur HVLS de 20 pi de diamètre installé à 16 pi au-dessus d'un couloir d'affouragement à une distance de 60 pi des autres appareils

Source : , D.W. Kammel, M.E. Raabe, J.J. Kappelman. *Design of High Volume Low Speed Fan Supplemental Cooling system in Dairy Free-Stall Barns*, Fifth International Dairy Housing Conference, Fort Worth, Texas, 29-31 janvier 2003.

Commande des ventilateurs de circulation

Les régulateurs de ventilation plus évolués et plus coûteux comportent des fonctions qui permettent d'activer et de désactiver des ventilateurs de circulation intégrés. On trouve sur le marché de nombreux régulateurs qui permettent d'obtenir le niveau de régulation souhaité. Différentes méthodes permettant aussi d'améliorer sans cesse la régulation.

- **Commande marche-arrêt automatique.** Option qui assure une commande des ventilateurs basée sur la température. En dessous de la température de consigne, les ventilateurs s'arrêtent; au-dessus de la température de consigne, ils sont mis en marche. Il s'agit d'une méthode peu coûteuse, qui produit un effet de refroidissement soudain. Cependant, la vitesse de circulation de l'air est souvent trop élevée et non souhaitable.
- **Commande manuelle de variation de la vitesse.** Option qui permet à l'exploitant de mettre manuellement en marche et à l'arrêt un ventilateur et de régler manuellement la vitesse du moteur et la vitesse de circulation de l'air résultante.
- **Commande marche-arrêt automatique et commande manuelle de variation de la vitesse combinées.** Option qui met automatiquement en marche et à l'arrêt un ventilateur au-dessus ou en dessous de la température de consigne et qui permet à l'exploitant de d'utiliser une commande manuelle pour régler la vitesse.
- **Commande marche-arrêt automatique et commande automatique de variation de la vitesse combinées.** Option assurant un degré optimal de commande et offrant beaucoup de souplesse à l'exploitant dans le choix des réglages. Ces commandes font appel à une température de consigne, sous laquelle le ventilateur s'arrête (p. ex. bâtiment très frais). Au point de consigne, le ventilateur fonctionne à une vitesse minimale prédéfinie. Si la température du local augmente, la vitesse du ventilateur augmente proportionnellement jusqu'à l'atteinte d'un maximum prédéfini par l'exploitant.

7.5.3 Refroidissement par ventilation longitudinale

La ventilation longitudinale a été mise au point à la fin des années 1960 dans le sud-ouest des États-Unis. À ce moment-là, elle était mise en œuvre avec un système de refroidissement par évaporation faisant appel à des tapis humides *(section 7.6 – Refroidissement à l'eau)*. La ventilation longitudinale assure une vitesse de circulation de l'air relativement élevée dans l'ensemble du bâtiment, tous les ventilateurs d'extraction étant situés dans un des murs d'extrémité et toutes les entrées d'air dans le mur opposé (figures 7.13 et 7.14). Il s'agit d'installer des ventilateurs de puissance suffisante pour renouveler l'air chaque minute par temps très chaud en maintenant une vitesse de l'air moyenne sur toute la longueur du bâtiment. Les bâtiments longs et étroits à plafond bas sont ceux qui profitent le plus de ce type de ventilation et au coût le plus faible.

Figure 7.13 Batterie de ventilateurs d'extraction d'un système de ventilation longitudinale dans un poulailler de poulets à griller

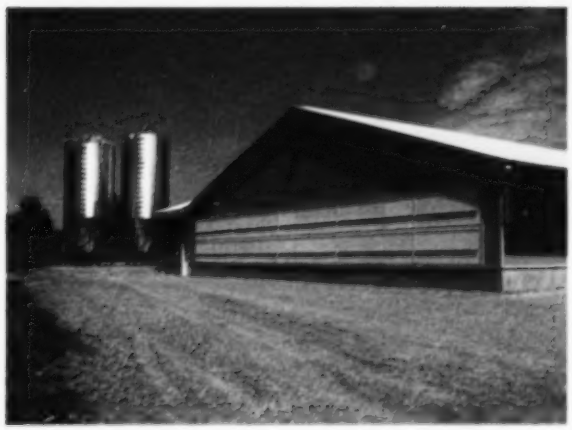


Figure 7.14 Prises d'air d'un système de ventilation longitudinale dans un poulailler de poulets à griller

Les systèmes de ventilation longitudinale sont utilisés avec succès dans les étables laitières à stabulation entravée et à stabulation libre (figure 7.15), dans les porcheries d'engraissement-finition et les locaux des porcheries abritant des animaux de reproduction et des truies gestantes, ainsi que dans les bâtiments d'élevage de pondeuses, de poulets à griller et de dindons à l'engrais. Ils ne sont pas recommandés pour les installations abritant des animaux jeunes et fragiles, puisque les courants d'air sont excessifs et créent un effet de refroidissement éolien trop important. Dans tous les cas, la ventilation longitudinale n'assure le renouvellement de l'air que durant les mois les plus chauds de l'année; un système de ventilation transversale étant nécessaire lorsque le temps est froid et qu'on recherche des taux de renouvellement d'air moins importants. L'alternance entre la ventilation transversale et la ventilation longitudinale est essentielle à une bonne performance.

Figure 7.15 Système de ventilation longitudinale dans une étable laitière

La vitesse de l'air à atteindre dans les installations dotées d'un système de ventilation longitudinale est de l'ordre de 200-500 pi/min (1,0-2,5 m/s). La vitesse réelle de l'air est choisie par le concepteur en consultation avec le propriétaire et le fournisseur du matériel de ventilation.

L'un des problèmes que pose la ventilation longitudinale est que le mouvement de l'air est laminaire – l'air a tendance à circuler en ligne droite depuis les entrées d'air situées à une extrémité du bâtiment jusqu'aux ventilateurs d'extraction situés à l'autre extrémité. Ce mouvement laminaire fait en sorte que la vitesse de l'air est maximale à mi-hauteur du local et moins élevée au niveau des animaux et près du plafond.

Quand on installe au plafond des panneaux déflecteurs à intervalles dans le sens de la longueur du bâtiment, l'air devient plus turbulent et est forcé vers le bas en direction des animaux. Ce mouvement de l'air (figure 7.16) assure l'évacuation de l'air vicié et fournit l'effet de refroidissement voulu autour du bétail et de la volaille. Les déflecteurs sont faits d'une variété de matériaux. Ceux qui sont faits de plastique sont faciles à installer et à enlever, mais ils peuvent être difficilement réutilisés. Installer des panneaux en contreplaqué et en plastique rigide que l'on peut rabattre ou replier au plafond durant les activités de nettoyage ou pour une réutilisation ultérieure.

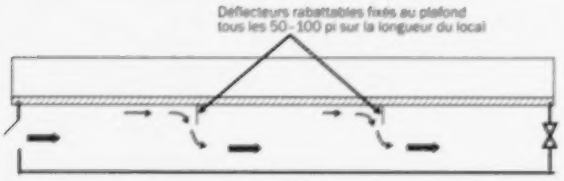


Figure 7.16 Utilisation de déflecteurs rabattables pour accroître l'effet de ventilation longitudinale sur toute la longueur du bâtiment

Conception des systèmes de ventilation longitudinale

Les divers paramètres de conception recommandés pour les systèmes de ventilation longitudinale figurent au tableau 7.2. Ils peuvent servir de guides pour la conception.

Tableau 7.2 Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale

Paramètre	Unités	Fourchette	Commentaires
Vitesse d'écoulement longitudinal cible	pi/min	200-500	Une fourchette de 250-300 est courante; les ventilateurs sont conçus pour fonctionner par paliers à commencer par une vitesse de 100 pi/min au palier 1, puis à des vitesses augmentant graduellement sur 2 à 3 paliers supplémentaires jusqu'à ce qu'ils tournent à plein régime.
Vitesse d'admission cible	**pi/min**	**400-600**	**Cette vitesse ne doit pas correspondre à plus du double de la vitesse d'écoulement longitudinal, de manière à réduire au minimum la chute de pression.**
Pression statique cible	po CE	0,06-0,08	La cible est plus élevée pour les emplacements plus venteux.
Espacement des déflecteurs	**pi**	**50-100**	**L'espacement est en général de 50 à 75 pi dans les locaux d'élevage de volaille.**
Vitesse déclenchant l'ouverture des déflecteurs	pi/min	400-600	Cette vitesse correspond habituellement au double de la vitesse d'écoulement longitudinal.

Remarque : Utiliser la feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale (ou d'autres méthodes de calcul du débit d'air maximal) aux fins du dimensionnement des entrées d'air et des ventilateurs d'un système de ventilation longitudinale destiné à un bâtiment d'élevage.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale

1.	Nombre d'animaux		animaux
2.	Taux de renouvellement d'air cible maximal (selon *annexe B*)		pi^3/min
3.	Vitesse d'écoulement longitudinal de l'air cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)		pi/min
4.	Section transversale du bâtiment : _____ pi de largeur x _____ pi de hauteur		pi^2
5.	Débit d'air total : _____ (ligne 3) x _____ (ligne 4) (Nota : le produit doit être supérieur au résultat de la ligne 2)		pi^3/min
6.	Vitesse d'admission cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)		pi/min
7.	Superficie des entrées d'air : _____ (ligne 5) ÷ _____ (ligne 6)		pi^2
8.	Largeur des entrées d'air : _____ pi de largeur du bâtiment – _____ pi d'obstructions		pi
9.	Hauteur des entrées d'air requise : _____ (ligne 7) ÷ _____ (ligne 8)		pi
10.	Espacement des déflecteurs (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)		pi
11.	Nombre de déflecteurs : (_____ pi de longueur du bâtiment ÷ _____ pi d'espacement) – 1		déflecteurs
12.	Vitesse déclenchant l'ouverture des déflecteurs (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)		pi/min
13.	Superficie de l'ouverture sous chaque déflecteur : _____ (ligne 5) ÷ _____ (ligne 12)		pi^2
14.	Hauteur maximale des déflecteurs à partir du plafond : (___ pi de hauteur du local – 1) – ([ligne 13] ÷ ___ pi de largeur du local)		pi
15.	Pression statique cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)		po CE
16.	Débit du ventilateur choisi (pi^3/min) en fonction de la pression statique de calcul		pi^3/min
17.	Nombre de ventilateurs longitudinaux : (ligne 5) ÷ (ligne 16)		ventilateurs

Exemple d'utilisation de la feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale pour un poulailler abritant 20 000 poussins de type poulets à griller

Concevoir un système de ventilation longitudinale pour un poulailler abritant 20 000 poussins d'un jour amenés jusqu'à 2,2 kg. La ventilation longitudinale est utilisée durant la dernière partie du cycle de croissance. Les dimensions du local sont les suivantes : 60 pi de largeur x 300 pi de longueur x 9 pi de largeur (18,2 m x 91,4 m x 2,7 m). Dans cet exemple, le taux de renouvellement d'air maximal cible (*annexe B*) est de 7 pi³/min/oiseau.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation longitudinale – Exemple portant sur un poulailler abritant 20 000 poulets à griller

1.	Nombre d'animaux	20 000	animaux
2.	Taux de renouvellement d'air cible maximal (selon *annexe B*) : **7** pi³/min/oiseau x **20 000** oiseaux	140 000	pi³/min
3.	Vitesse d'écoulement longitudinal de l'air cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)	300	pi/min
4.	Section transversale du bâtiment : **60** pi de largeur x **9** pi de hauteur	540	pi²
5.	Débit d'air total : **300** pi/min (ligne 3) x **540** pi² (ligne 4) (Nota : le produit doit être supérieur au résultat de la ligne 2)	162 000	pi³/min
6.	Vitesse d'admission cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)	500	pi/min
7.	Superficie des entrées d'air : **162 000** pi³/min (ligne 5) ÷ **500** pi/min (ligne 6)	324	pi²
8.	Largeur des entrées d'air : **60** pi de largeur – **5** pi d'obstructions	55	pi
9.	Hauteur des entrées d'air requise : **324** pi² (ligne 7) ÷ **55** pi (ligne 8)	5,9	pi
10.	Espacement des déflecteurs (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)	75	pi
11.	Nombre de déflecteurs : (**300** pi de longueur du bâtiment ÷ **75** pi d'espacement) – 1	3	déflecteurs
12.	Vitesse déclenchant l'ouverture des déflecteurs (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)	500	pi/min
13.	Superficie de l'ouverture sous chaque déflecteur : **162 000** pi³/min (ligne 5) ÷ **500** pi/min (ligne 12)	324	pi²
14.	Hauteur maximale des déflecteurs à partir du plafond : (**324** pi de hauteur du local – **1**) – ([ligne 13] ÷ **60** pi de largeur du local)	2,6	pi
15.	Pression statique cible (selon tableau 7.2, Paramètres de conception des systèmes de ventilation longitudinale)	0,08	po CE
16.	Débit du ventilateur choisi (pi³/min) en fonction de la pression statique de calcul	21 000	pi³/min
17.	Nombre de ventilateurs longitudinaux : **162 000** pi³/min (ligne 5) ÷ **21 000** pi³/min (ligne 16)	8	ventilateurs

Notes explicatives de l'exemple portant sur le poulailler abritant les 20 000 poussins

1. Le local abrite 20 000 poussins d'un jour de type poulets à griller amenés jusqu'au poids de marché de 2,2 kg.
2. Le taux de renouvellement d'air cible maximal (*annexe B*) est de 7 pi³/min/oiseau ou 140 000 pi³/min. Remarque : cette valeur se rapproche du volume d'air net au-dessus d'oiseaux à maturité (60 pi x 300 pi x 8 pi) = 144 000 pi³.
3. La vitesse de calcul lorsque le système de ventilation longitudinale fonctionne à plein régime est de 300 pi/min (selon tableau 7.2) et est maintenue sur toute la longueur du bâtiment pour assurer 1 renouvellement d'air par minute.
4. La section transversale du bâtiment est de 60 pi x 9 pi ou de 540 pi².
5. Pour atteindre la vitesse cible de 300 pi/min, le débit total est de 300 pi/min x 540 pi² ou de 162 000 pi³/min. Comme ce débit est supérieur à la valeur calculée à la ligne 2 (140 000 pi³/min), il est acceptable.
6. La vitesse d'admission de l'air dans les entrées d'air de la ventilation longitudinale est calculée de façon à éviter une

baisse de pression statique excessive pour les ventilateurs d'extraction. Une cible de 500 pi/min est acceptable.

7. Le débit total de 162 000 pi^3/min est divisé par la vitesse d'admission de l'air dans les entrées d'air de 500 pi/min pour arriver à 324 pi^2.

8. La largeur des entrées d'air est déterminée par la largeur totale du bâtiment moins la largeur de toute obstruction (ex. montant d'angle, poteaux, entrée de porte). Dans cet exemple, il reste une largeur de 55 pi après la déduction de toutes les obstructions, lesquelles correspondent à un total de 5 pi.

9. La hauteur des entrées d'air est de 324 pi^2 ÷ 55 pi ou de 5,9 pi. Cette hauteur est arrondie à 6 pi; une ouverture totale de 6 pi sur 55 pi est donc fournie pour les entrées d'air frais.

10. Un réseau de déflecteurs assure une utilisation optimale de l'air. Un espacement de 75 pi est choisi à partir de l'extrémité du bâtiment où se trouvent les entrées d'air.

11. Le nombre de déflecteurs installés dans le bâtiment est fonction de la longueur du bâtiment (300 pi) divisée par l'espacement des déflecteurs (75 pi) moins 1, pour un total de trois déflecteurs.

12. Chaque déflecteur est conçu pour faire augmenter la vitesse moyenne de l'air et faire en sorte que l'air circule plus près des oiseaux. Pour prévenir une pression statique excessive sur les ventilateurs d'extraction, la vitesse choisie est de 500 pi/min (vitesse se rapprochant de la vitesse d'admission par les prises d'air du système de ventilation longitudinale).

13. La superficie de l'ouverture de chaque déflecteur est calculée en divisant le débit d'air total par la vitesse choisie : 162 000 pi^3/min ÷ 500 pi/min = 324 pi^2.

14. Connaissant la superficie de l'ouverture de chaque déflecteur (ligne 13) et la hauteur du local, en tenant compte du fait que les oiseaux occupent la portion inférieure du local, la hauteur maximale du déflecteur est calculée de la manière indiquée. Ce calcul indique que chaque déflecteur ne doit pas descendre à plus de 2,6 pi du plafond pour que l'écoulement de l'air ne soit pas trop restreint.

15. Au moment de choisir les ventilateurs longitudinaux chez le fabricant, opter pour des appareils dont la capacité mécanique est basée sur une baisse de pression statique de 0,08 po CE de manière à tenir compte des vents contraires, de l'ouverture des entrées d'air et des panneaux déflecteurs.

16. Choisir des ventilateurs mis à l'essai par l'un des laboratoires AMCA ou BESS d'une capacité mécanique de 21 000 pi^3/min à 0,08 po CE (ventilateurs de 48 po ou de 50 po de diamètre).

17. Le débit requis de 162 000 pi^3/min est divisé par la valeur de 21 000 pi^3/min par ventilateur à 0,08 po CE pour obtenir le nombre total de ventilateurs requis pour ce bâtiment abritant des poulets à griller.

Remarque : Les paramètres de ventilation définitifs pour ce bâtiment sont choisis en fonction des exigences du propriétaire et du concepteur. On ne peut passer de la ventilation transversale à la ventilation longitudinale par temps très chaud tant que les oiseaux n'ont pas atteint l'âge de trois semaines (1,2 kg). Une bande de 20 000 oiseaux de cet âge exige un débit d'air d'environ 25 000 pi^3/min. Pour obtenir ce débit, la ventilation transversale augmente en passant par au moins deux ou trois paliers avant que le système de ventilation longitudinale commence à fonctionner.

Ce palier est suivi d'un palier de ventilation assuré par un ventilateur longitudinal procurant un débit d'air total de 50 000 pi^3/min, puis par au moins deux paliers assurés par des ventilateurs longitudinaux procurant chacun 100 000 pi^3/min, et enfin par un dernier palier procurant un débit de 62 000 pi^3/min.

Commande des systèmes de ventilation longitudinale

Il y a bien des façons de commander les systèmes de ventilation transversale et de ventilation longitudinale. Il vaut mieux installer un régulateur qui commande les deux, de sorte qu'ils puissent être interreliés et programmés pour permettre le passage automatique de l'un à l'autre à la température ambiante voulue. Les systèmes peuvent fonctionner indépendamment l'un de l'autre s'ils sont commandés par des régulateurs distincts et si l'exploitant est prêt à s'en occuper.

Peu importe la stratégie utilisée, activer les paliers successifs de ventilation longitudinale au fur et à mesure que la température du local augmente. Cela empêche un refroidissement trop important et donne aux animaux le temps de s'adapter à différents schémas et vitesses d'écoulement de l'air. Dans l'exemple portant sur le poulailler de poulets à griller, une ventilation longitudinale assurée par trois paliers de ventilation est une stratégie normale (p. ex. palier 1 = 2 ventilateurs, palier 2 = 3 ventilateurs et palier 3 = 3 ventilateurs). Cette stratégie permet un arrêt graduel des ventilateurs durant la nuit pour réduire la vitesse de l'air autour des oiseaux si la température de l'air entrant diminue.

Lorsque le temps très chaud arrive, la température intérieure est de 3 °C supérieure à la température extérieure. En conséquence, l'emplacement des capteurs n'est pas un facteur critique. Situer les capteurs en fonction de la ventilation hivernale, sans accorder trop d'importance à l'incidence de leur emplacement sur la performance de la ventilation longitudinale. Programmer chaque palier de ventilation longitudinale pour qu'il s'active à chaque hausse de température de 1 °C. Utiliser un décalage de la température de 0,5 °C. Dans cet exemple (poulailler de poulets à griller) :

- Température de consigne principale = 26 °C
- Mise en marche de la ventilation longitudinale de palier 1 = 28 °C
- Mise en marche de la ventilation longitudinale de palier 2 = 29 °C
- Mise en marche de la ventilation longitudinale de palier 3 = 30 °C
- Mise en marche de la ventilation longitudinale de palier 4 = 31 °C

Continuer à procéder ainsi pour tout palier additionnel. Dans certains cas, le régulateur permet l'arrêt des ventilateurs d'extraction muraux à 0,5 °C en dessous de la température établie pour la mise ne marche de la ventilation longitudinale, ce qui permet de réduire les risques d'interventions inutiles du régulateur dans un sens et dans l'autre, lesquelles peuvent mettre à rude épreuve les moteurs et relais des ventilateurs d'extraction muraux.

Assurer une transition en douceur entre la ventilation transversale et la ventilation longitudinale pour éviter d'exposer le bétail et la volaille à un stress indu. Dans certains poulaillers utilisant des niveaux d'éclairage réduits, lorsque les grands panneaux de prise d'air s'ouvrent et que les ventilateurs de grands diamètres entrent en action, le local est soudainement inondé de lumière, ce qui peut perturber les oiseaux. Les oiseaux s'infligent alors entre eux des blessures cutanées et s'entassent dans les coins. Cette réaction peut même être responsable d'une mortalité par étouffement des oiseaux courant précipitamment pour s'éloigner de la clarté vive. La ventilation longitudinale crée un changement majeur de direction de la circulation de l'air, ce qui affecte le mouvement des oiseaux, puis cause une variation de leur densité sur la longueur du local.

On peut faire fonctionner simultanément la ventilation transversale et la ventilation longitudinale, mais il est indispensable que le débit d'air entrant soit adéquat et que le schéma de circulation d'air qui en découle soit acceptable. Suivre les conseils d'un concepteur chevronné en systèmes de ventilation.

Les anciennes granges-étables présentent un défi, du fait de la difficulté à y mettre en œuvre un système de ventilation transversale, mais la plupart d'entre elles se prêtent à l'installation d'un système de ventilation longitudinale intégré à un système de ventilation déjà en place. Le système de ventilation existant peut s'arrêter ou continuer de fonctionner lorsque la ventilation longitudinale est mise en marche. Dans certains cas, les ventilateurs des murs latéraux contribuent au plein effet de la ventilation

longitudinale et au refroidissement éolien voulu. Dans d'autres cas, ils court-circuitent le mouvement d'air créé par la ventilation longitudinale, de sorte que leur fonctionnement simultané n'est pas souhaitable.

Si l'on manque d'espace pour disposer les ventilateurs du système de ventilation longitudinale sur le mur du bâtiment, placer les ventilateurs dans le vide sous-toit ou le grenier à foin et ajouter des conduits permettant de raccorder les ventilateurs au local abritant les animaux d'élevage (figure 7.17 et figure 7.18).

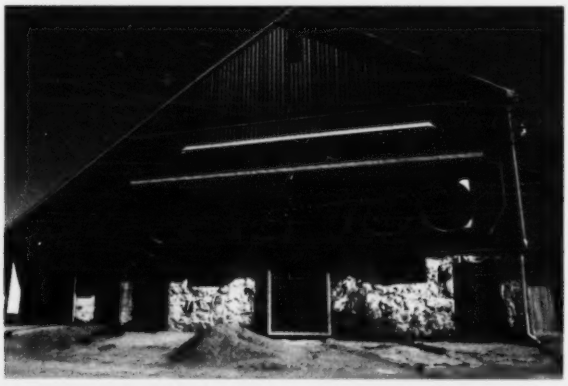


Figure 7.17 Vieille grange-étable dotée d'un système de ventilation longitudinale, avec ventilateurs installés dans le vide sous-toit ou le grenier à foin

Figure 7.18 Vue intérieure du conduit permettant de raccorder les ventilateurs au local abritant les animaux

Les étables à stabulation entravée de nouvelle génération utilisent la ventilation naturelle pendant trois saisons et passent à la ventilation longitudinale par très temps chaud.

7.6 Refroidissement à l'eau

Le recours à un système de refroidissement à l'eau est une méthode efficace pour soulager les animaux de la chaleur par temps très chaud. L'eau a une très grande capacité d'absorption de l'excès de chaleur thermique. Les systèmes de refroidissement à l'eau coûtent beaucoup moins cher que les systèmes de refroidissement à l'air. Chaque livre d'eau qui s'évapore extrait de l'air environ 1 000 BTU d'énergie calorifique.

Les systèmes de refroidissement à l'eau augmentent l'humidité relative de l'air dans une certaine mesure. Les asperseurs à faible pression sont ceux qui ajoutent le moins d'humidité (< 5 %), tandis que les brumisateurs à haute pression et les tapis humides de refroidissement par évaporation sont ceux qui en ajoutent le plus (de 10 % à 30 %, selon leur capacité relative d'évaporation de l'eau). Dans un milieu animal, le pourcentage d'humidité ne doit pas dépasser 80 %. Le refroidissement à l'eau n'est envisageable que si l'humidité relative extérieure est inférieure à 70 % et, préférablement, à 60 %.

Plus le taux d'humidité ambiante est bas, plus les possibilités de vaporisation de l'eau et d'abaissement de la température de l'air sont élevées. Lorsqu'on vaporise une quantité suffisante d'eau dans un local affichant une température de l'air de 30 °C pour y augmenter le taux d'humidité de 10 %, on peut abaisser la température de 1,6 à 2,0 °C selon le taux d'humidité initial dans le local. Le tableau 7.3 montre la baisse maximale de température atteinte en vaporisant de l'eau dans un local où la température ambiante se situe à 30 °C. La baisse de température possible est légèrement plus élevée lorsque la température ambiante est de 35 °C.

Tableau 7.3 Baisse maximale de la température ambiante causée par la vaporisation de l'eau

Température ambiante et humidité relative	Baisse de température ambiante causée par la vaporisation de l'eau		
	Hausse de 10 % de l'HR dans le local	Hausse de 20 % de l'HR dans le local	Hausse de 30 % de l'HR dans le local
30 °C et 40 % HR	2,2 °C	4,3 °C	6,0 °C
30 °C et 50 % HR	2,0 °C	3,8 °C	5,4 °C
30 °C et 60 % HR	1,8 °C	3,4 °C	HR du local trop élevée
30 °C et 70 % HR	1,6 °C	HR du local trop élevée	HR du local trop élevée

Source : American Society of Agricultural and Biological Engineers. *Psychrometric Chart, Normal Temperatures, SI Metric Units*, ASAE D271.2 APR1979 (R2005).

Les chercheurs ont déterminé que les animaux ressentent une plus grande fraicheur que peut laisser présumer la lecture de la température sur le thermomètre sec, lorsqu'ils sont exposés à l'environnement d'un local doté d'un système de refroidissement à l'eau et à une humidité élevée. Le tableau 7.4 montre la baisse de température ressentie (fraîcheur ressentie dans le local supérieure à ce que pourrait laisser présumer la température mesurée) par des porcs exposés à divers systèmes de refroidissement.

Tableau 7.4 Effet du refroidissement à l'eau sur les porcs

Type de système de refroidissement	Baisse de température ressentie
tapis humide	3,0 °C
brumisateur	3,0 °C
goutteur	5,5 °C
extincteur	5,5 °C

Source : McFarlane, J. M. *How Do Your Pigs Really Feel? Effective Temperature for Pigs*. Animal Environment Specialists, Inc., Marysville, Ohio, 2000.

Quatre types de systèmes de refroidissement à l'eau :

- les asperseurs et goutteurs;
- les asperseurs et ventilateurs combinés;
- les brumisateurs;
- les tapis humides.

7.6.1 Asperseurs et goutteurs

Les asperseurs et les goutteurs sont économiques et faciles à installer, à gérer et à entretenir comparativement aux autres systèmes de refroidissement à l'eau. Ce sont les systèmes qui utilisent la moins grande quantité d'eau pour une population d'animaux donnée à maintenir au frais. L'eau provient du réseau d'alimentation en eau principal. La pression d'eau requise est d'au moins 40 livres par pouce carré (lb/po^2), une pression de 50 lb/po^2 étant préférable.

L'eau est projetée par une tête d'asperseur rotative (figures 7.19 et 7.20). Le schéma obtenu peut avoir la forme d'un cercle de 6 à 20 pi (1,8-6,0 m) ou celle d'un rectangle d'environ 4 pi x 8 pi (1,2 m x 2,4 m).

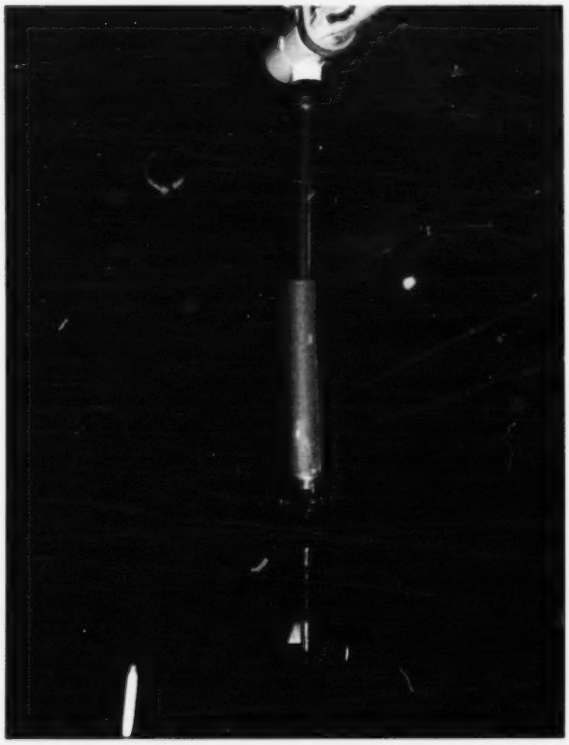


Figure 7.19 Tête d'asperseur rotative à faible pression avec système antigoutte et renfort de conduit

Figure 7.20 Système d'aspersion à faible pression dans une étable laitière

Les gouttes d'eau projetées par l'asperseur ressemblent à une pluie fine. Elles sont conçues pour tomber sur les animaux par jets aussi courts que 15 secondes toutes les 30 minutes ou par jets aussi longs que 2 minutes toutes les 5 à 10 minutes, selon les réglages du régulateur. La fréquence, déterminée par le type de bétail ou de volaille, augmente lorsque la température ambiante s'accroît. Une fois l'animal aspergé d'eau, la chaleur que dégage l'animal – en combinaison avec le mouvement de l'air créé par le système de ventilation (ou le système de refroidissement à l'air) – transforme cette eau en vapeur d'eau entraînant avec elle la chaleur, ce qui rafraîchit l'animal.

Un composant clé d'un asperseur de ce genre est la soupape antigoutte, qui ferme immédiatement chaque asperseur dès que l'alimentation en eau est coupée par la soupape principale, ce qui prévient toute fuite d'eau à partir du tuyau d'alimentation principal durant la période d'arrêt.

Les fuites d'eau peuvent :

- créer un inconfort pour les animaux;
- créer une zone mouillée sous chaque asperseur et endommager la litière;
- amener les asperseurs à fonctionner à des moments différents lorsque le système se met de nouveau en marche, ce qui peut entraîner un refroidissement inégal.

Asperseurs et ventilateurs de circulation

Lorsqu'un asperseur à faible pression est combiné à un ventilateur de circulation, la majeure partie de l'eau, sinon toute, s'évapore dans l'air. L'air de refroidissement est dirigé vers des emplacements précis. Ce type de système est surtout efficace pour le refroidissement d'un groupe d'animaux dans un espace clos (p. ex. vaches laitières dans une salle de traite ou le long d'une mangeoire). Ne pas employer ces appareils là où ils risqueraient de mouiller la litière ou les stalles.

7.6.2 Brumisateurs

Un système de brumisation à haute pression est conçu pour refroidir l'air comme le fait un climatiseur. L'eau est pressurisée à 1 000 lb/po^2, ce qui exige des tuyaux, des raccords, des buses, des soupapes d'arrêt, etc. Tous les composants d'un tel système doivent être faits d'acier inoxydable. Par ailleurs, le maintien d'une pression de 1 000 lb/po^2 nécessite le recours à une pompe à forte consommation d'énergie.

Les buses comportent de minuscules ouvertures qui permettent de pulvériser l'eau sous la forme de fines gouttelettes d'un diamètre de l'ordre de 5 micromètres. L'eau doit être très douce et exempte de dépôts minéraux pour ne pas que les buses se bouchent, car celles-ci sont difficiles à réparer une fois bouchées. De nombreux systèmes comportent des systèmes de filtration à degrés multiples qui doivent être entretenus pour éviter les problèmes d'obstruction.

Les buses sont placées très près des entrées d'air, ce qui permet à l'eau évaporée de se mélanger à l'air entrant et de le refroidir. L'espacement des buses est fonction de la répartition de la pulvérisation, mais les buses sont généralement espacées de 2,5-3,0 pi (0,8-1,0 m) le long de l'entrée d'air. Chaque buse standard a un débit nominal de 0,1 L/min, d'où la nécessité d'installer un grand nombre de buses pour assurer le refroidissement de l'ensemble du volume d'air.

Les figures 7.21 et 7.22 montrent l'action de la brumisation dans des bâtiments abritant des poulets à griller et des porcs.

Figure 7.21 Brumisateur à haute pression dans un poulailler de poulets à griller

Figure 7.22 Brumisateur à haute pression devant une entrée d'air dans une porcherie

7.6.3 Commandes des systèmes de refroidissement à l'eau

Certains systèmes sont vendus avec leur propre dispositif de commande (figure 7.13), tandis que d'autres sont asservis aux fonctions de commande comprises dans de nombreux régulateurs de ventilation. Dans tous les cas, les systèmes de refroidissement sont activés au-dessus d'une certaine température de consigne, puis utilisent une minuterie pour commander les cycles marche-arrêt du refroidissement. Les régulateurs plus évolués prévoient plusieurs paliers de refroidissement qui s'activent au fur et à mesure que la température augmente. On peut aussi modifier manuellement le temps et la fréquence de fonctionnement pour accroître ou diminuer l'effet de refroidissement, selon la taille des animaux et la température du local.

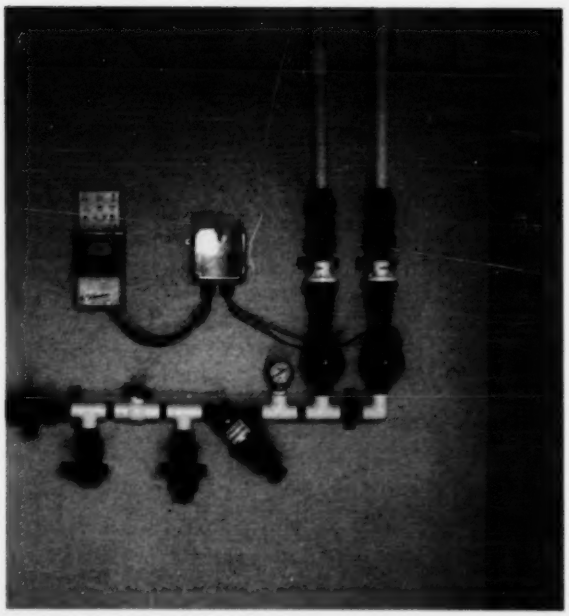


Figure 7.23 Alimentation en eau et régulateur d'un système d'aspersion

Les commandes par électro-aimants qui régulent les cycles marche-arrêt font parfois défaut en position d'ouverture et peuvent parfois laisser couler de grands volumes d'eau et occasionner, dans les cas extrêmes, des inondations. Utiliser une soupape volumétrique réglable (figure 7.24) pour limiter le débit total quotidien et éliminer ce risque.

Figure 7.24 Soupape volumétrique réglable

7.6.4 Tapis humides

Les tapis humides fonctionnent mieux en combinaison avec un système de ventilation longitudinale. Ils sont faits de matériaux en fibres tissées qui ressemblent à un carton ondulé mais comportant de plus grands écarts entre les cannelures. L'eau s'égoutte dans les cannelures à partir d'une cuvette perforée et à l'aide d'une pompe, ce qui garde le matériau humide tant et aussi longtemps qu'un refroidissement est nécessaire. Les ventilateurs d'extraction poussent l'air à travers des cannelures (toutes les autres entrées d'air étant fermées), et l'eau s'évapore dans l'air pour le rafraîchir. Comme dans le cas des entrées d'air d'un système de ventilation longitudinale, une surface de tapis humide suffisante est requise pour maintenir la vitesse de circulation de l'air entre 400 et 500 pi/min (2,0-2,5 m/s) et s'assurer que les ventilateurs d'extraction ne combattent pas une pression statique excessive ni ne réduisent le débit d'air. La figure 7.25 montre un tapis humide intégré à un système de ventilation longitudinale dans un bâtiment abritant des volailles.

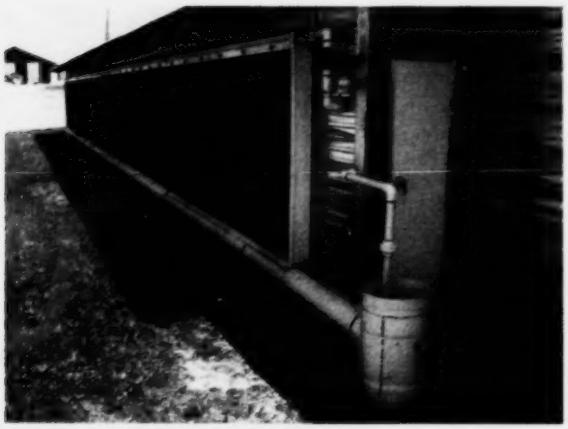


Figure 7.25 Tapis humide

Les tapis humides constituent une méthode très efficace de refroidissement des bâtiments d'élevage, mais ils comportent un certain nombre d'inconvénients qui empêchent leur utilisation à grande échelle en Ontario. Les voici :

- Le climat de l'Ontario exige que les systèmes soient complètement purgés chaque automne et remplis de nouveau au printemps.
- Le système nécessite un entretien suivi pour prévenir la prolifération d'algues et le dépôt de minéraux sur le matériau fibreux. Il doit être remplacé après quelques années.
- Sur le plan du coût et de la consommation d'eau, ce système se compare à un système de brumisation à haute pression, mais il n'est pas aussi en demande à cause de l'entretien plus rigoureux qu'il requiert.

7.7 Exemples de réglage

Les systèmes de refroidissement sont souvent utilisés pour soulager de la chaleur le bétail et la volaille par temps très chaud. Cependant, les systèmes d'aspersion (et seulement eux) sont aussi utilisés avec succès dans les porcheries dont le plancher est partiellement latté, pour limiter les odeurs et dans les bâtiments abritant des dindons à l'engrais, pour limiter les poussières durant l'hiver. Les tableaux suivants montrent des exemples de réglages à deux paliers pour chacune de ces applications.

Tableau 7.5 Réglages pour le refroidissement (paliers 1 et 2) d'une porcherie

Température de consigne du palier 1 = 20 °C		Palier 2 (facultatif) = +1-2 °C au-dessus du réglage du palier 1	
Marche	2 minutes	Marche	5 minutes
Arrêt	15 minutes	Arrêt	15 minutes

Tableau 7.6 Réglages visant la maîtrise des odeurs (palier 1) et le refroidissement (palier 2)

Température de consigne du palier 1 = 5 °C		Palier 2 (facultatif) = + 4-6 °C au-dessus de la température de consigne du régulateur de ventilation	
Marche	15 secondes	Marche	5 minutes
Arrêt	15 minutes	Arrêt	15 minutes
		Remarque : Prolonger les périodes d'arrêt si cela est possible. Le but est de garder les lattes mouillées.	

Tableau 7.7 Réglages visant la maîtrise des poussières (palier 1) et le refroidissement (palier 2) dans un bâtiment abritant des dindons à l'engrais

Température de consigne de palier 1 = 5 °C		Palier 2 (facultatif) = +4-6 °C au-dessus de la température de consigne du régulateur de ventilation	
Marche	15 secondes	Marche	5 minutes
Arrêt	60 minutes	Arrêt	15 minutes
Remarque : Désactiver le régulateur pendant 12 heures la nuit.			

7.8 Résumé sur les systèmes de refroidissement à l'eau et à l'air

Chaque exploitation a ses propres besoins et exigences en matière de refroidissement. Les concepteurs doivent déterminer ces besoins et choisir le système qui convient. Le tableau 7.8 résume les coûts relatifs d'installation, d'entretien et d'exploitation de divers systèmes de refroidissement à l'eau et de refroidissement mécanique.

Tableau 7.8 Comparaison de divers systèmes de refroidissement

Type	Volume relatif d'eau requis	Coûts en immobilisations	Coûts d'exploitation et d'entretien
Asperseur/gouteur à faible pression (50 lb/po^2)	faible	faibles	faibles
Asperseur à pression moyenne (200 lb/po^2)	moyen	moyens	faibles
Brumisateur à haute pression (1 000 lb/po^2)	élevé	élevés	élevés
Tapis humide	élevé	élevés	élevés
Climatiseur	aucun	très élevés	très élevés

Les systèmes de refroidissement à l'eau à basse pression sont réglés pour fonctionner par courts jets; les volumes d'eau sont donc très faibles bien que le débit par buse soit assez élevé.

Les buses à haute pression affichent un débit de beaucoup inférieur à celui des buses à basse pression, mais elles fonctionnent beaucoup plus souvent pour refroidir en continu la masse d'air entrant lorsque des débits d'air élevés sont évacués en continu. Certains régulateurs sont réglés pour réduire le débit d'air maximal lorsque fonctionne le système de refroidissement, ce qui permet d'économiser l'eau. À l'étape de la conception, le concepteur devrait s'enquérir auprès du fabricant des besoins en eau du système envisagé.

L'installation des systèmes de refroidissement varie en fonction du type d'élevage et du style de bâtiment. Les tableaux 7.9 à 7.11 offrent certaines recommandations de conception générales.

Tableau 7.9 Applications des systèmes de refroidissement aux étables laitières

Installation	Système de refroidissement	Notes sur la conception	Notes sur les fonctions de commande
Étable à stabulation libre	• asperseurs à basse pression avec ventilateurs de circulation • asperseurs et brumisateurs combinés	• intégrer à des ventilateurs de circulation • ne placer qu'au-dessus des passages; toujours loin des stalles et des distributeurs d'aliments	• à 25 °C, marche pendant 3 min toutes les 30 min • à 35 °C, marche pendant 10 min toutes les 30 min
Parc d'attente	• asperseurs à basse pression avec ventilateurs de circulation • asperseurs et brumisateurs combinés		• à 25 °C, marche pendant 1 min toutes les 15 min • à 35 °C, marche pendant 2 min toutes les 5 min
Étable à stabulation entravée	• brumisateurs à haute pression facultatifs ou tapis humide	• non couramment utilisés	• à 25 °C, marche pendant 15 s toutes les 30 min • à 35 °C, marche pendant 2 min toutes les 10 min
Bâtiment abritant des génisses	• gouttеurs à basse pression • brumisateurs à haute pression facultatifs ou tapis humide	• non utilisés en général dans les bâtiments abritant des génisses, à moins que celles-ci ne soient logées avec des vaches adultes	• à 25 °C, marche pendant 15 s toutes les 30 min • à 35 °C, marche pendant 2 min toutes les 10 min
Bâtiment abritant des veaux	• non recommandé		

Tableau 7.10 Applications des systèmes de refroidissement aux porcheries

Installation	Système de refroidissement	Notes sur la conception	Notes sur les fonctions de commande
Cases de parturition et stalles de gestation	• gouttеurs à basse pression	• 1 par stalle/case de parturition • Placer de manière que l'eau s'égoutte dans le cou des truies ou sur leurs épaules	• à 25 °C, marche pendant 3 min toutes les 30 min • à 35 °C, marche pendant 10 min toutes les 30 min
Pouponnières	• non recommandé		
Enclos pour porcs de finition et truies	• asperseurs à basse pression	• au-dessus des lattes si le plancher est partiellement latté • au-dessus de zones où il y a des courants d'air ou de zones où les animaux ne se couchent pas, dans les bâtiments dont le plancher est entièrement latté	• marche pendant 15 s toutes les 30 min pour la maîtrise des odeurs • à 35 °C, marche pendant 2 min toutes les 10 min
Verrats reproducteurs	• gouttеurs à basse pression (stalles) ou asperseurs (enclos) • brumisateurs à haute pression facultatifs ou climatiseur ou tapis humide		

Tableau 7.11 Applications des systèmes de refroidissement aux bâtiments abritant des volailles

Installation	Système de refroidissement	Notes sur la conception	Notes sur les fonctions de commande
Poulets à griller	• asperseurs à faible pression ou • brumisateurs à haute pression ou matelas humide	• placer à un endroit où les distributeurs d'aliments ne seront pas mouillés	• fermeture du système tant que les oiseaux ont moins de 21 jours • à 25 °C, marche pendant 30 s toutes les 15 min • à 35 °C, marche pendant 1 min toutes les trois 3 min
Sujets reproducteurs de type poulets à griller	• asperseurs à faible pression ou • brumisateurs à haute pression ou tapis humide	• placer à un endroit où les distributeurs d'aliments ne seront pas mouillés	• à 25 °C, marche pendant 30 s toutes les 15 min • à 35 °C, marche pendant 1 min toutes les 3 min
Dindonneaux (accouvage)	• non recommandé		
Dindons à l'engrais	• asperseurs à faible pression ou • brumisateurs à haute pression ou tapis humide	• placer à un endroit où les distributeurs d'aliments ne seront pas mouillés	• à 25 °C, marche pendant 30 s toutes les 15 min • à 35 °C, marche pendant 1 min toutes les 3 min
Dindons reproducteurs	• asperseurs à faible pression ou • brumisateurs à haute pression ou tapis humide	• placer à un endroit où les distributeurs d'aliments ne seront pas mouillés	• à 25 °C, marche pendant 30 s toutes les 15 min • à 35 °C, marche pendant 1 min toutes les 3 min
Pondeuses	• brumisateurs à haute pression ou tapis humide	• placer les tuyaux près des entrées d'air et assez loin des cages pour prévenir la condensation et l'égouttement sur les oiseaux	• à 30 °C, marche pendant 1 min, arrêt pendant 10 min • à 35 °C, marche pendant 2 min, arrêt pendant 2 min
Poulettes	• non recommandé		

7.9 Étables laitières « à profil bas » ventilées transversalement

L'étable laitière de grande largeur, dite « à profil bas », ventilée transversalement est un nouveau modèle d'étable qui gagne en popularité dans le Midwest américain (figure 7.26). Ces étables sont construites suivant le principe voulant qu'une étable laitière comportant huit rangées occupe moins d'espace que deux étables laitières à quatre rangées ventilées naturellement qui seraient placées côte à côte.

Selon les chercheurs, l'autre avantage des étables laitières « à profil bas » ventilées transversalement tient au fait qu'on peut y maintenir un milieu constant tout au long de l'année. Ces étables offrent en effet un meilleur environnement que les autres étables à stabulation libre aussi bien en hiver, au printemps et à l'automne qu'en été, puisqu'elles sont dotées de systèmes de refroidissement par évaporation.

L'étable est ventilée transversalement grâce à un mur-rideau ouvert à une extrémité et à une batterie de ventilateurs du côté opposé, ce qui crée un effet de ventilation en tunnel sur la largeur du bâtiment. Des déflecteurs installés à une hauteur de 7-8 pi (2,1-2,4 m) au-dessus du plancher augmentent la vitesse de l'air au-dessus des stalles libres et maintiennent la circulation de l'air à la hauteur des vaches (figure 7.27).

Figure 7.27 Déflecteurs utilisés pour accroître la vitesse de l'air au-dessus de stalles libres

Le refroidissement peut être assuré par des tapis humides du côté du bâtiment où se trouvent les prises d'air, des asperseurs à l'intérieur du bâtiment ou un système de brumisation à haute pression aux entrées d'air (figure 7.28).

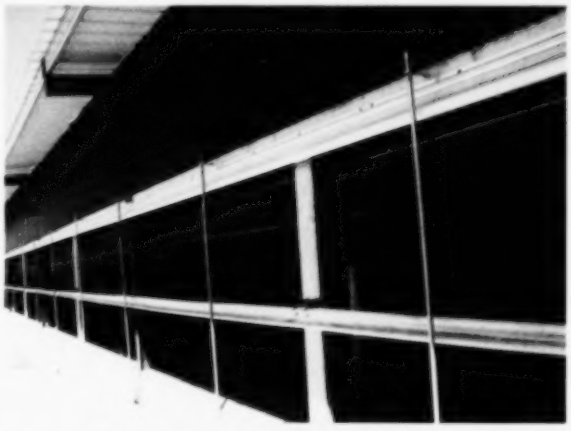
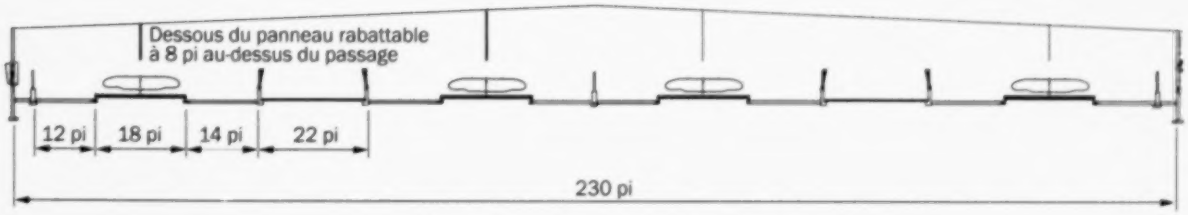


Figure 7.28 Système de brumisation à haute pression placé aux entrées d'air pour abaisser la température dans l'étable



Étable de grande largeur, tête-à-tête, à huit rangées

Figure 7.26 Étable laitière « à profil bas », tête-à-tête, à huit rangées, ventilée transversalement

Table des matières

8. Ventilation du vide sous-toit 179

8.1 Introduction 179

8.1.1 Prévention de la condensation 179

8.1.2 Réduction de la charge thermique durant l'été 179

8.1.3 Approvisionnement en air frais des entrées d'air au plafond 179

8.2 Ventilation minimale du vide sous-toit 180

8.3 Détails de construction 184

8.4 Problèmes courants posés par la ventilation du vide sous-toit 186

8.4.1 Obstruction des orifices d'aération 186

8.4.2 Migration des contaminants provenant des locaux d'élevage 186

8. Ventilation du vide sous-toit

8.1 Introduction

Une bonne ventilation du vide sous-toit est un élément important de tout système de ventilation, indépendamment de l'espèce animale abritée dans les locaux d'élevage. La ventilation du vide sous-toit :

- prévient les problèmes de condensation dans le vide sous-toit;
- réduit la charge thermique imposée au bâtiment durant l'été;
- procure un apport d'air frais suffisant quand les entrées d'air au plafond sont utilisées.

8.1.1 Prévention de la condensation

Dans tout local d'élevage, la respiration animale produit une quantité considérable de vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau exerce une pression sur toutes les surfaces intérieures du bâtiment en cherchant à égaliser la quantité de vapeur d'eau moindre qu'on trouve à l'extérieur du local d'élevage et notamment dans le vide sous-toit. Même si un bon pare-vapeur freinera le gros de cette migration, celle-ci est impossible à éliminer totalement. Les éléments utilisés pour maintenir en place les revêtements de plafond ponctuent le pare-vapeur de nombreux petits orifices qui laissent passer la vapeur jusque dans le vide sous-toit. Les systèmes de ventilation à pression positive accentuent cette migration. Bon nombre de bâtiments utilisent des entrées d'air au plafond comme autre voie d'évacuation de l'humidité dans le vide sous-toit. Cette voie prend encore plus d'importance pendant les périodes où la ventilation fonctionne au ralenti ou est arrêtée lorsque le local est vide et est nettoyé entre les bandes. Une fois que la vapeur d'eau a pénétré dans le vide sous-toit, elle doit l'en être chassée pour éviter des problèmes. Il se produit en effet de la condensation si la température tombe sous le point de rosée dans le vide sous-toit.

La condensation mouille les matériaux servant à isoler le plafond, ce qui réduit du coup leur résistance thermique (leur valeur R). La condensation mouille aussi tous les éléments structuraux présents dans le vide sous-toit, déclenchant ainsi un processus de détérioration. Il faut savoir que la vapeur d'eau est chargée de différents gaz et des odeurs dégagées par les animaux. Comme l'ammoniac, l'un des gaz les plus courants, est soluble dans l'eau, il s'attache à chaque molécule d'eau. Cette combinaison chimique crée de l'hydroxyde d'ammonium, un agent oxydant qui fait rouiller (réaction d'oxydation) toute pièce de métal non protégée avec laquelle il entre en contact, notamment les plaques-goussets métalliques (plaques servant à assurer la rigidité de l'assemblage) des fermes de toit et les matériaux de couverture métalliques.

Un renouvellement d'air suffisant par le vide sous-toit évacue cette vapeur d'eau et limite la durée de contact de l'eau avec les matériaux isolants et les éléments structuraux.

8.1.2 Réduction de la charge thermique durant l'été

La température dans le vide sous-toit peut atteindre les 50 °C et même davantage aux beaux jours de l'été. Cette chaleur impose une charge thermique considérable sur le bâtiment. Même les vides sous-toits bien isolés irradient alors de la chaleur vers les locaux sous-jacents. Aucun système de ventilation ne peut affronter toute cette chaleur excédentaire et réussir à maintenir à l'intérieur une température d'au plus 2 °C supérieure à la température extérieure. De la même façon qu'elle limite les problèmes de condensation dans le vide sous-toit, une bonne ventilation par le vide sous-toit empêche la survenue de hausses de températures importantes.

8.1.3 Approvisionnement en air frais des entrées d'air au plafond

De nombreux systèmes de ventilation utilisent la totalité du vide sous-toit comme plénum d'approvisionnement en air pour les entrées d'air au plafond. Cette façon de procéder est courante dans

les grosses porcheries qui comportent un certain nombre de locaux cloisonnés ouvrant sur des couloirs intérieurs, dans lesquelles la superficie qu'occupent les murs extérieurs dans chaque pièce ne permet pas un apport d'air frais suffisant. Dans ces conditions, le vide sous-toit doit être extrêmement bien ventilé pour procurer toute la capacité d'écoulement d'air nécessaire à la ventilation en toutes saisons.

Le point le plus important dans la conception de ce type d'installation est l'obtention d'au moins deux renouvellements d'air complets par minute dans le vide sous-toit durant les grandes chaleurs. Ce taux empêche la chaleur de s'accumuler dans le vide sous-toit et d'être emportée directement dans les locaux occupés par les animaux ou par les oiseaux. Ce type d'aménagement ne convient qu'aux bâtiments qui disposent de ventilateurs d'une capacité suffisante pour renouveler l'air rapidement dans le vide sous-toit. Une toiture blanche possède de meilleures propriétés réfléchissantes. Une fois que le toit perd de sa blancheur ou se salit, son pouvoir réfléchissant se trouve considérablement réduit. On corrige ce problème de manière à conserver sa couleur au toit en installant un isolant offrant un coefficient de résistance thermique d'au moins R 5 (RSI 0,9) directement sous l'acier de couverture de tous les nouveaux bâtiments qui possèdent des entrées d'air au plafond. On applique une peinture céramique de couleur claire sur les toits existants de manière à réduire les gains de chaleur solaire et à prolonger la durée de vie utile de la toiture. La peinture céramique est efficace au départ, mais perd de son efficacité avec le passage du temps et à mesure qu'elle se salit.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Installer un isolant offrant un coefficient de résistance thermique d'au moins R 5 (RSI 0,9) directement sous l'acier de couverture de tous les bâtiments qui possèdent des entrées d'air au plafond, afin de réduire les gains de chaleur solaire pendant les mois chauds de l'été et afin de réduire la superficie des surfaces métalliques exposées à la condensation pendant le reste de l'année.

8.2 Ventilation minimale du vide sous-toit

Pour ventiler au mieux le vide sous-toit, on laisse l'air frais y pénétrer depuis les deux avant-toits et on évacue l'air chaud au moyen de ventilateurs de faîte et/ou d'aérateurs à lames de pignon (figures 8.1 et 8.2). La superficie totale recommandée des prises d'air destinées à la ventilation du vide sous-toit est d'au moins 1 pi^2/300 pi^2 (1 m^2/300 m^2) de surface de plafond. Ce critère est respecté si la moitié des prises d'air se trouvent le long de l'avant-toit ou du soffite et que l'autre moitié se trouvent le long du faîte et/ou dans les pignons. Les aérateurs à lames de pignon ne conviennent qu'aux bâtiments de moins de 50 pi (15,2 m) de long, à moins qu'ils ne s'assortissent

Figure 8.1 Une bonne ventilation du vide sous-toit nécessite des ouvertures continues le long des avant-toits et suffisamment d'aérateurs de faîte

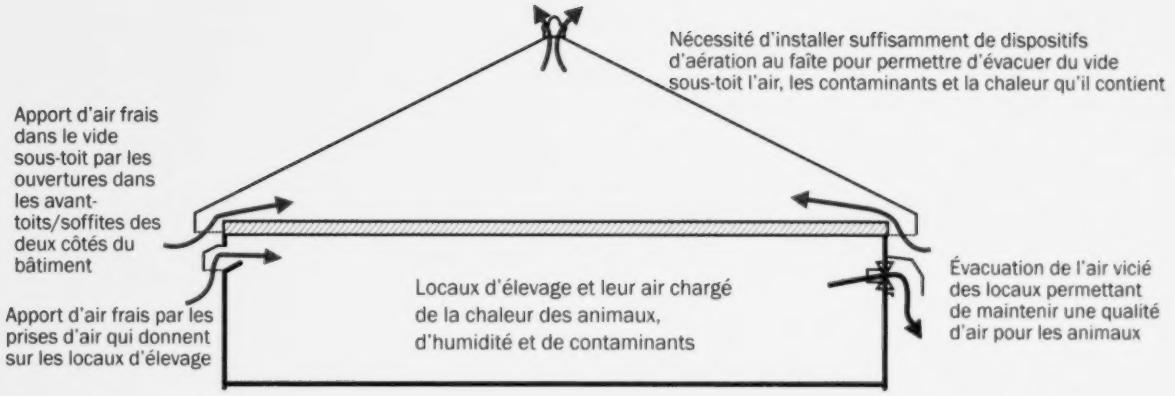


Figure 8.2 Croquis d'un bâtiment montrant les exigences de ventilation à la fois du local d'élevage et du vide sous-toit

d'aérateurs de faîte. Un aérateur de faîte procure une ouverture nette de 1,5 pi² (0,14 m²) par section de 10 pi (3 m). Installé en continu, il procure une ventilation suffisante du vide sous-toit le long du faîte pour des bâtiments d'une largeur allant jusqu'à 90 pi (27,4 m).

Le tableau 8.1 indique, en fonction de la largeur du bâtiment, les exigences relatives aux ouvertures dans le soffite et à la ventilation par le faîte qui procurent la superficie minimale recommandée pour les ouvertures.

Tableau 8.1 Ouvertures minimales donnant sur le vide sous-toit pour assurer une circulation naturelle

Largeur du bâtiment (pi)	Ouverture minimale par avant-toit par pied de longueur du bâtiment[a]				Longueur maximale de bâtiment par dispositif au faîte[b]		
	Largeur de la fente continue (po)	Nombre de trous circulaires requis par pied de longueur d'avant-toit[c]			Ventilateur de faîte circulaire occupant 1 pi² (pi)	Évent de faîte de 4 pi de long occupant 2,5 pi² (pi)	Aérateur de faîte occupant 1,5 pi²/10 pi (pi)
		½ po de diam.	¾ po de diam.	1 po de diam.			
20	0,20	12	6	3	30	75	45
25	0,25	15	7	4	24	60	36
30	0,30	18	8	5	20	50	30
36	0,36	22	10	6	16	40	25
40	0,40	24	11	7	15	37	22
48	0,48	-	13	8	12	31	18
50	0,50	-	14	8	12	30	18
60	0,60	-	17	10	10	25	15
70	0,70	-	19	11	-	21	12
80	0,80	-	22	13	-	18	11
90	0,90	-	-	14	-	16	10
100	1,00	-	-	15	-	15	-
110	1,10	-	-	17	-	13	-
120	1,20	-	-	19	-	12	-
130	1,30	-	-	20	-	11	-
140	1,40	-	-	22	-	10	-
150	1,50	-	-	23	-	10	-

[a]Ouverture sous chaque avant-toit en fonction d'un minimum de 1 pi²/1 200 pi² de surface de plafond.
[b]Ouverture au faîte en fonction d'un minimum de 1 pi²/600 pi² de surface de plafond.
[c]Pour des raisons pratiques, on préconise 24 trous ou moins par pied de soffite.

Pour un meilleur confinement des incendies, les codes du bâtiment exigent que les gros vides sous-toit soient cloisonnés à intervalles réguliers à l'aide de murs pare-feu approuvés (p. ex. le *Code canadien de construction des bâtiments agricoles* de 1995 exige que tous les vides sous-toit soient divisés par des coupe-feu en compartiments). Il faut alors s'assurer que chaque compartiment du vide sous-toit est suffisamment ventilé individuellement.

Pour la ventilation mécanique du vide sous-toit, les ventilateurs sont dimensionnés de façon à procurer un renouvellement d'air toutes les deux minutes. Cette solution, qui s'assortit de coûts d'exploitation, n'est habituellement retenue que pour remédier à un problème existant ou dans des cas particuliers lorsque la ventilation par circulation naturelle n'est pas possible.

Un problème que peuvent poser les systèmes de ventilation des vides sous-toit vient de l'air chargé de poussières et d'humidité qui est évacué par les ventilateurs d'extraction se trouvant sur les murs latéraux, et qui risque de pénétrer dans le vide sous-toit par les avant-toits et les ouvertures dans le soffite situés immédiatement au-dessus de chaque sortie d'air. Idéalement, on doit fermer l'ouverture dans le soffite sur environ 4 pi (1,2 m) de part et d'autre de chaque sortie de ventilateur d'extraction. On peut aussi installer sur la sortie d'air un conduit vertical permettant d'évacuer l'air vicié au-dessus de l'avant-toit (figure 8.3).

Figure 8.3 Conduit vertical installé sur une sortie d'air permettant d'évacuer l'air vicié au-dessus de la prise d'air du vide sous-toit

Feuille de calcul pour la ventilation du vide sous-toit

1.	Largeur du bâtiment		pi
2.	Longueur du bâtiment		pi
3a.	Ventilation par les avant-toits : Option 1 – largeur de fente constante le long de chaque avant-toit/soffite (donnée tirée du tableau 8.1)		po
3b.	Ventilation par les avant-toits : Option 2 – nombre de trous dans le soffite perforé (donnée tirée du tableau 8.1)	___ trous ___ trous	de ___ de diamètre de ___ de diamètre
3c.	Choix recommandé pour la ventilation des avant-toits (3a ou 3b)		
4a.	Ventilation par le faîte : Option 1 – nombre requis de ventilateurs de faîte circulaires : _____ pi de longueur de bâtiment ÷ _____ pi par unité (tableau 8.1)		ventilateurs
4b.	Ventilation par le faîte : Option 2 – nombre requis de ventilateurs de faîte de 4 pi de long : _____ pi de longueur de bâtiment ÷ _____ pi par unité (tableau 8.1)		ventilateurs
4c.	Ventilation par le faîte : Option 3 – nombre requis de sections de 10 pi de long d'un aérateur de faîte : _____ pi de longueur de bâtiment ÷ _____ pi par unité (tableau 8.1)		sections
4d.	Choix du dispositif à installer au faîte (4a, 4b, 4c)		

Exemple de calcul pour la ventilation du vide sous-toit dans une porcherie

Trouver comment obtenir une ventilation minimale du vide sous-toit dans une porcherie mesurant 50 pi x 100 pi (15,2 m x 30,4 m).

Feuille de calcul pour la ventilation du vide sous-toit dans une porcherie

1.	Largeur du bâtiment	50	pi
2.	Longueur du bâtiment	100	pi
3a.	Ventilation par les avant-toits : Option 1 – largeur de fente constante le long de chaque avant-toit/soffite (donnée tirée du tableau 8.1)	0,5	po
3b.	Ventilation par les avant-toits ventilation : Option 2 – nombre de trous dans le soffite perforé (donnée tirée du tableau 8.1)	14 trous 8 trous	de ¾ po de diamètre de 1 po de diamètre
3c.	Choix recommandé pour la ventilation des avant-toits (**3a** ou 3b)	3a	
4a.	Ventilation par le faîte : Option 1 – nombre requis de ventilateurs de faîte circulaires : **100** pi de longueur de bâtiment ÷ **12** pi par unité (tableau 8.1)	9	ventilateurs
4b.	Ventilation par le faîte : Option 2 – nombre requis de ventilateurs de faîte de 4 pi de long : **100** pi de longueur de bâtiment ÷ **30** pi par unité (tableau 8.1)	4	ventilateurs
4c.	Ventilation par le faîte : Option 3 – nombre requis de sections de 10 pi de long d'un aérateur de faîte : **100** pi de longueur de bâtiment ÷ **18** pi par section (tableau 8.1)	6	sections
4d.	Choix du dispositif à installer au faîte (4a, 4b, **4c**)	4c	

Notes explicatives concernant l'exemple de calcul pour la ventilation du vide sous-toit dans une porcherie

1. La largeur du bâtiment est de 50 pi.

2. La longueur du bâtiment est de 100 pi.
   Ventilation minimale le long des avant-toits (colonnes 2 à 5 du tableau 8.1).

3a. À partir du tableau 8.1, la largeur de fente constante le long de chaque avant-toit/soffite pour un bâtiment de 50 pi de large est de 0,50 po (donnée tirée de la colonne 2).

3b. Le tableau 8.1 indique qu'il faut doter le soffite de métal perforé d'au moins 14 trous de ¾ po de diamètre par pied de longueur d'avant-toit, ou de 8 trous de 1 po de diamètre par pi de longueur d'avant-toit (données tirées des colonnes 4 et 5 du tableau 8.1).

3c. Choix d'installer une fente continue d'au moins 0.5 po de largeur le long des soffites ou d'utiliser les soffites perforés qu'on trouve sur le marché et qui possèdent le bon nombre de trous du diamètre voulu.
Ventilation par le faîte (colonnes 6, 7 et 8 du tableau 8.1)

4a. On pourrait choisir pour ce bâtiment de 100 pi de long, 9 ventilateurs de faîte circulaires (100 pi ÷ 12 pi).

4b. On pourrait aussi choisir 4 ventilateurs de faîte de 4 pi de long chacun (100 pi ÷ 30 pi).

4c. Une autre possibilité encore consisterait à choisir 6 sections de 10 pi de long d'un aérateur de faîte (100 pi ÷ 18 pi).

Remarque : Choisir le type de ventilateur de faîte à utiliser. Pour cette porcherie, installer au moins 6 sections de 10 pi de long d'un aérateur de faîte.

8.3 Détails de construction

L'exemple qui précède montre des prises d'air distinctes donnant sur le vide sous-toit et sur le local d'élevage; à noter que souvent, ces prises d'air sont regroupées sous un même auvent. Cette configuration nécessite une ouverture beaucoup plus grande pour répondre aux besoins de ventilation estivale. L'ouverture doit habituellement faire 8-12 po de largeur (200-300 mm). Avec cette configuration et une ouverture de la prise d'air dans le haut du mur latéral (figure 8.4) ou au-dessus de la sablière puis à travers le plafond (figure 8.5), il faut placer des plaques de retenue entre les fermes, de sorte qu'il ne reste qu'un espace libre de 1,0-1,5 po (25-40 mm) pour la ventilation du vide sous-toit.

Les plaques de retenue gardent l'isolant hors de l'entrée d'air et font office de panneau pare-vent. Ils réduisent au minimum la quantité d'air chaud du vide sous-toit qui est retourné dans l'entrée d'air quand de grandes quantités d'air frais sont nécessaires.

Comme on le voit aux figures 8.4 et 8.5, l'ouverture dans le soffite et l'auvent protégeant les prises d'air doivent être de dimensions suffisantes pour ne pas occasionner un écoulement inversé de l'air en provenance du vide sous-toit par temps chaud.

Pour empêcher la neige et le vent de s'engouffrer dans le soffite ou sous l'auvent, situer l'ouverture près de la bordure d'avant-toit, c.-à-d. à distance du mur latéral du bâtiment. L'installation d'un pare-vent de 3-4 po de largeur posé sur le champ dans l'axe longitudinal du bâtiment constitue une exigence minimale à respecter. Dans les endroits venteux, on peut ajouter un panneau de fermeture sur la bouche de l'auvent afin de réduire son ouverture de 15-20 % durant l'hiver. L'ouverture qui reste, quand même suffisamment grande pour la ventilation du local d'élevage et du vide sous-toit durant l'hiver, se trouve ainsi davantage écartée du mur du bâtiment et des tourbillons produits par le vent.

Dans le cas des systèmes de ventilation qui utilisent la totalité du vide sous-toit comme plénum d'approvisionnement en air frais, l'ouverture des prises d'air doit être suffisamment grande pour fournir toute la ventilation nécessaire durant les grandes chaleurs et approvisionner amplement le vide sous-toit en air pendant toute l'année. Ce genre de prise d'air nécessite des fermes de toit à chevrons relevés qui procurent un dégagement suffisant pour les ouvertures au-dessus du matériau isolant (figure 8.6). Cela ne change en rien la nécessité de doter le bâtiment d'une ventilation suffisante par le faîte, de manière à garantir une bonne circulation d'air dans tout le vide sous-toit.

Chaque fois que la totalité du vide sous-toit sert de plénum d'approvisionnement en air frais pour la ventilation de locaux d'élevage, il faut isoler la sous-face de la couverture pour empêcher que la chaleur qui règne dans le vide sous-toit durant l'été ne soit aspirée dans les locaux sous-jacents par les entrées d'air au plafond.

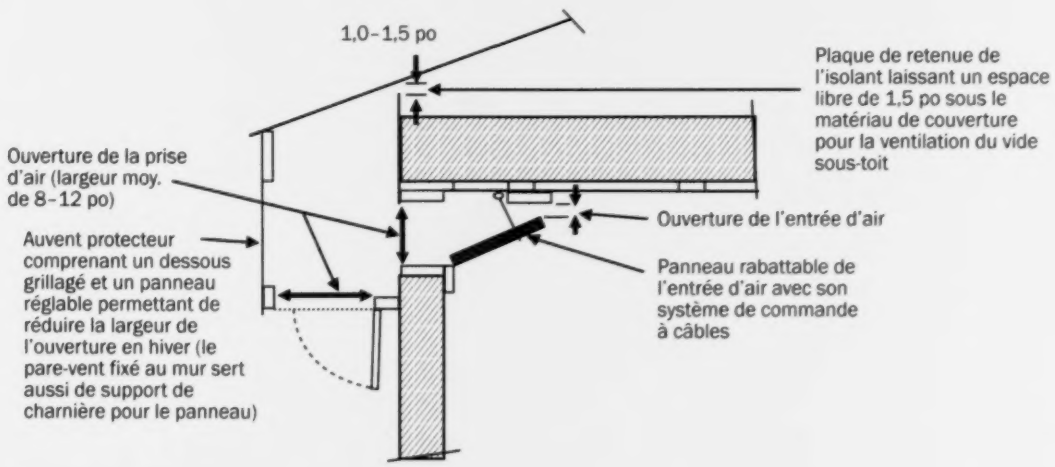


Figure 8.4 Prise d'air passant par le mur

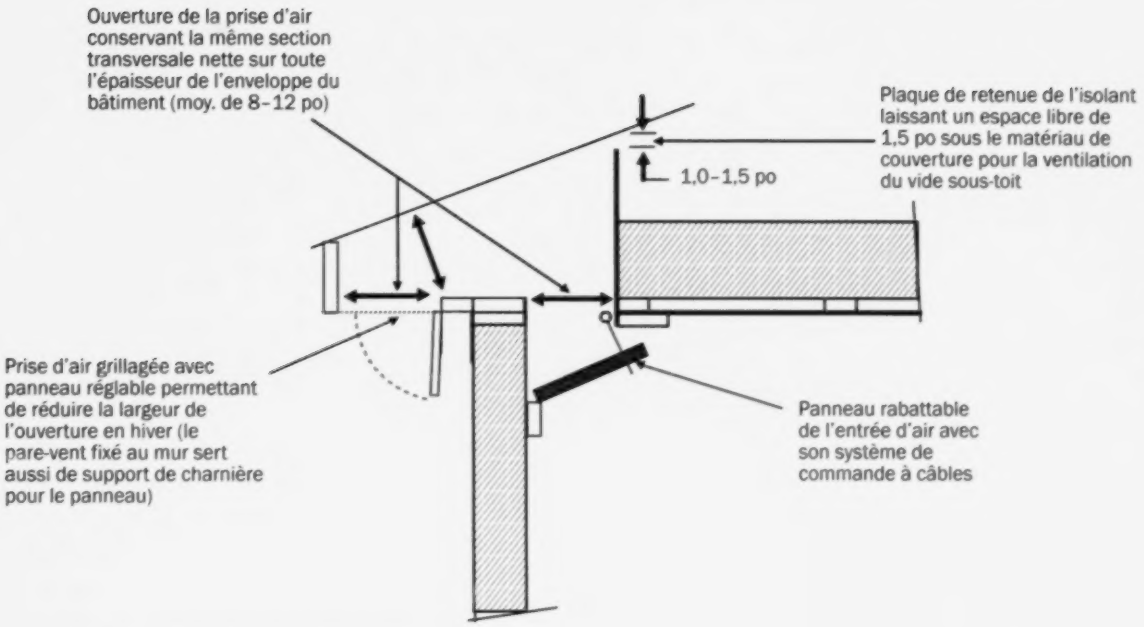


Figure 8.5 Prise d'air passant par le plafond

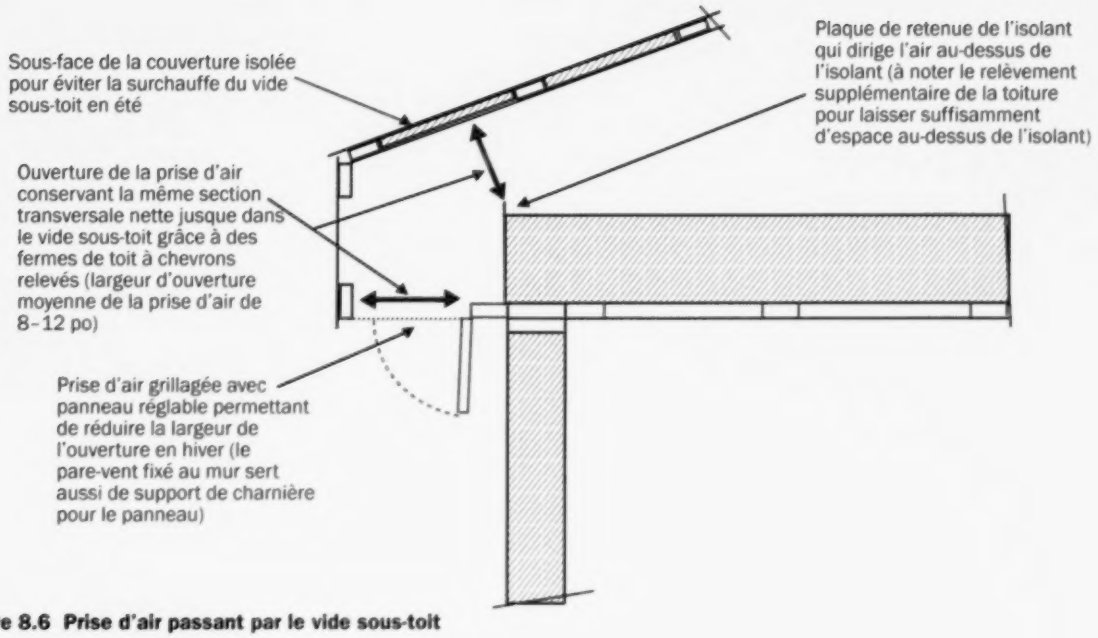


Figure 8.6 Prise d'air passant par le vide sous-toit

8.4 Problèmes courants posés par la ventilation du vide sous-toit

8.4.1 Obstruction des orifices d'aération

L'isolant en vrac qui est soufflé dans le vide sous-toit se répand dans la zone du soffite et obstrue les grillages des prises d'air. Il est possible de poser une plaque de retenue de l'isolant en laissant un espace libre de 1,5 po (38 mm) sous le matériau de couverture; ainsi les deux jets d'air se trouvent séparés. Inspecter et nettoyer les ouvertures des prises d'air au besoin après la construction et à nouveau une fois que des toutes les améliorations subséquentes ont été apportées.

Avec le temps, les poussières, plumes, débris végétaux et autres qu'on trouve autour des bâtiments d'élevage peuvent finir par obstruer les grillages qui protègent les prises d'air ou encore le matériau perforé employé comme soffite pour l'approvisionnement en air du vide sous-toit. Pour s'assurer que tous les orifices d'aération sont fonctionnels, on doit les inspecter et les nettoyer annuellement.

8.4.2 Migration des contaminants provenant des locaux d'élevage

Dans tout environnement où vivent des animaux, l'air est passablement chargé d'humidité sous forme de vapeur d'eau. L'humidité et les contaminants peuvent se diffuser à contre-courant par les entrées d'air jusque dans le vide sous-toit pendant les périodes où la ventilation est faible et lorsque les locaux sont vides entre les bandes, dans un système de conduite en bande. Cet air qui fuie dans le vide sous-toit y augmente les problèmes de condensation et y accélère la détérioration des matériaux (figure 8.7).

Figure 8.7 Détérioration grave occasionnée par la pénétration d'humidité dans le vide sous-toit

Source : Les Consultants Yves Choinière Inc., Ange-Gardien (de Rouville) (Québec), Canada.

On atténue de beaucoup ce problème par le dimensionnement adéquat du système de ventilation en veillant à ce que celui-ci fonctionne le plus continuellement possible et à ce que les entrées d'air soient réglées correctement. Chaque fois que le système de ventilation s'arrête, les entrées d'air au plafond devraient se refermer complètement. Ce point pose davantage problème dans le cas des entrées d'air auto-équilibrées que dans le cas des entrées d'air actionnées par câbles. Dans tous les cas, quand un local est vide entre des bandes d'animaux, il faut veiller à ce que le système de ventilation soit commandé par minuterie afin d'éviter l'accumulation de divers contaminants et afin de maintenir la charge d'humidité au minimum. S'il y a des déjections dans les caniveaux, le taux de renouvellement d'air minimal est de ½ renouvellement par heure. Une autre directive consiste à faire fonctionner dans le local le plus petit ventilateur pendant un cycle de 2 minutes toutes les 10 minutes afin de garantir un échange d'air minimal.

Table des matières

9. Ventilation naturelle 189

9.1 Principes de ventilation naturelle 189
9.1.1 Orientation et emplacement du bâtiment 191
9.2 Orifices de ventilation naturelle 192
9.2.1 Ouvertures dans les murs latéraux 192
9.2.2 Ouvertures dans le toit 195
9.2.3 Cheminées 196
9.3 Régulation des systèmes de ventilation naturelle 201
9.3.1 Variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air 201
9.3.2 Régulateurs commandant la ventilation naturelle 203
9.3.3 Autres facteurs influençant la performance 206
9.4 Modernisation de bâtiments existants 206
9.5 Ventilation naturelle des bâtiments à façade ouverte 207
9.5.1 Autres ouvertures de ventilation dans les bâtiments à façade ouverte 210
9.6 Ventilation mixte 210
9.6.1 Volet ventilation mécanique de la ventilation mixte 212
9.6.2 Volet ventilation naturelle de la ventilation mixte 213
9.6.3 Exemple de dimensionnement d'un système de ventilation mixte pour une porcherie d'engraissement-finition de 1 000 porcs 215
9.6.4 Commandes pour la ventilation mixte 220

9. Ventilation naturelle

9.1 Principes de ventilation naturelle

La ventilation naturelle utilise les forces naturelles (p. ex. le vent et la poussée thermique) plutôt que des systèmes de ventilation alimentés à l'électricité pour ventiler les bâtiments d'élevage de bétail et de volaille (figure 9.1).

Figure 9.1 Porcherie de finition ventilée naturellement

Les exigences de ventilation des bâtiments d'élevage sont les mêmes que les bâtiments soient ventilés naturellement ou mécaniquement. La ventilation doit être suffisante pour empêcher les hausses de température excessives dans le bâtiment en été et pour empêcher l'humidité et les gaz des fumiers de s'y accumuler en hiver. Le degré de ventilation nécessaire est déterminé par la chaleur et l'humidité produites par les animaux.

Dans un bâtiment ventilé naturellement, les déplacements d'air résultent de deux forces naturelles :

- Le vent, qui pousse l'air à travers les ouvertures dans le mur face au vent et qui aspire l'air hors des ouvertures du côté sous le vent et hors de tout orifice de ventilation ouvert sur le toit.
- L'air chaud, qui, en étant moins dense que l'air froid, s'élève naturellement et décrit un mouvement ascendant. Les différences de température entre l'air chaud intérieur et l'air froid extérieur font en sorte que l'air ambiant monte jusqu'au plafond et s'échappe par des ouvertures au faite ou des cheminées. L'air pénètre par des ouvertures dans les murs latéraux qui se trouvent plus près du niveau du sol et bien en-deçà du faîte ouvert ou de la cheminée. Ce phénomène porte le nom de poussée thermique (ou effet de tirage). Si la poussée thermique s'assortit de l'effet de tirage de cheminées et de la succion exercée par le vent dans le haut des cheminées, ce mouvement ascendant de l'air peut être passablement important durant l'hiver.

Durant l'été, la ventilation est presque entièrement assurée par l'effet vent, les températures ambiantes et extérieures étant alors si proches que la poussée thermique est minime. Durant l'hiver, la ventilation est surtout créée par la différence de températures, étant donné que les panneaux latéraux sont presque complètement fermés de manière à freiner la circulation par le vent. Au printemps et à l'automne, la ventilation est assurée à la fois par le vent et par l'effet des différences de températures.

Par temps chaud, le taux de renouvellement d'air dans un bâtiment d'élevage ventilé mécaniquement est limité par le nombre et la capacité des ventilateurs. Dans les bâtiments ventilés naturellement, le taux de renouvellement d'air dépend de la superficie des orifices d'aération ainsi que de la vitesse et de la direction du vent. La plupart du temps, durant l'été la ventilation mécanique procure tout au plus 1 renouvellement d'air par minute. Par comparaison, une brise estivale procure 3 ou 4 renouvellements d'air par minute dans un bâtiment ventilé naturellement.

Par temps froid, la température intérieure dans les bâtiments ventilés mécaniquement est régulée automatiquement par des régulateurs qui modifient la vitesse des ventilateurs ou commandent la mise en marche ou l'arrêt des ventilateurs de manière

à modifier le taux de renouvellement d'air au besoin. Dans les bâtiments ventilés naturellement, le taux de renouvellement d'air est réglé par des régulateurs qui modifient automatiquement la largeur des ouvertures dans les murs latéraux et le réglage des aérateurs de faîte ou des clapets dans les cheminées. Si un bâtiment ventilé naturellement est géré comme un bâtiment chauffé, il faut l'isoler et parfois le doter d'une installation de chauffage d'appoint un peu comme s'il s'agissait d'une structure ventilée mécaniquement.

La ventilation naturelle comporte un certain nombre d'avantages :

- **Charges d'exploitation moins élevées.** L'absence de ventilateurs représente des coûts d'énergie et d'entretien en moins pour l'exploitant.
- **Niveaux sonores réduits.** Il s'ensuit un abaissement du stress imposé aux animaux et aux travailleurs. Les travailleurs entendent plus facilement ce qu'on leur dit et sont plus à même de percevoir d'éventuels sons inhabituels produits par les animaux.
- **Maintien de la ventilation même durant les pannes d'électricité.** Durant les pannes, le réglage des ouvertures reste le même. Les portes sont actionnées manuellement ou, si ce sont des portes électriques, elles peuvent être alimentées par la génératrice d'urgence.
- **Locaux mieux éclairés où le travail y est donc plus agréable.** Pour les animaux qui ont besoin de la lumière du jour pour un gain de poids ou une performance de reproduction optimale, une bonne partie de la lumière qu'il leur faut leur est procurée naturellement par la lumière du jour. L'éclairage des locaux à longueur d'année par la lumière naturelle n'est possible qu'avec des rideaux transparents ou des panneaux muraux isolés s'assortissant de fenêtres.
- **Taux de renouvellement d'air élevés durant l'été.** L'été, grâce à la brise et aux larges ouvertures pratiquées dans les murs extérieurs, les taux de renouvellement d'air dans les bâtiments ventilés naturellement équivalent au double des taux normalement observés dans les bâtiments ventilés mécaniquement.

La ventilation naturelle comporte aussi son lot d'inconvénients :

- **Difficulté à maîtriser l'entrée des oiseaux sauvages.** Il faut poser des grillages et bien les entretenir pour empêcher les oiseaux d'entrer.
- **Eau qui dégoutte sous les ouvertures au faîte ou les cheminées.** Éviter d'abriter les animaux sous les ouvertures au faîte ou sous les cheminées, car les gouttes d'eau attribuables aux infiltrations de pluie et/ou à la condensation sont à craindre. Dans les poulaillers où les oiseaux sont élevés sur parquet, suspendre des plateaux de collecte sous les fûts de cheminée pour éviter que la litière ne se mouille.
- **Difficulté à maintenir la température et une qualité d'air uniforme à l'automne, en hiver et au printemps.** Cette difficulté vient de la variation constante des facteurs influençant les débits d'air (température, direction et vitesse du vent) et la pénétration d'air par les ouvertures dans les murs latéraux, les cheminées ou les ouvertures au faîte.
- **Plus grande difficulté à chauffer les bâtiments ventilés naturellement.** Les ventilateurs à air pulsé produisent de l'air chaud atteignant plus de 150 °C. L'air chaud produit s'élève et est évacué par les ouvertures au faîte ou par les cheminées avant de parvenir à chauffer les locaux. Ces effets peuvent être atténués par des systèmes de circulation bien conçus et de bonnes pratiques de gestion.

Types d'animaux d'élevage pouvant être logés confortablement dans des locaux ventilés naturellement :

- porcs d'engraissement-finition et porcs dans les aires de gestation ou de reproduction;
- bovins (en stabulation entravée ou en stabulation libre), génisses de remplacement et veaux de race laitière;

- bovins de boucherie;
- moutons et chèvres;
- dindons à l'engrais.

Dans les régions bénéficiant d'un climat plus doux, la ventilation naturelle est utilisée dans les poulaillers de poulets à griller et de pondeuses en cage.

La ventilation naturelle est aussi utilisée avec succès dans les locaux d'élevage où il faut maîtriser la lumière du jour (p. ex. dans les élevages de poules pondeuses, de poulets à griller, de dindons à l'engrais, de volaille de reproduction et de lapins de reproduction). Le programme d'éclairage doit toutefois être intégré avec soin.

9.1.1 Orientation et emplacement du bâtiment

L'orientation du bâtiment est cruciale pour le succès d'un système de ventilation naturelle. La longueur du bâtiment doit s'aligner perpendiculairement aux vents dominants. Une orientation nord-sud est recommandée dans la plupart des régions de l'Ontario. Elle réduit au minimum les périodes où il n'y a pas suffisamment de vent qui souffle contre le mur latéral. D'autres orientations sont aussi utilisées, mais elles compromettent la performance thermique du bâtiment. Se renseigner auprès de la station météorologique locale sur les particularités de la rose des vents à l'emplacement prévu pour le bâtiment. La rose des vents indique, pour un endroit précis, la fréquence et l'intensité des vents soufflant dans diverses directions.

Les obstacles nuisent à l'écoulement de l'air à l'intérieur d'un bâtiment. Ils nuisent aussi à l'évacuation de l'air vicié qui revient alors dans le bâtiment avec toute l'humidité et les agents pathogènes qu'il contient. Cette situation peut avoir une nature saisonnière et se produire, par exemple, seulement l'été en raison d'une modification de la configuration des vents.

Ainsi, des arbres ou des structures situés à l'ouest d'un bâtiment d'élevage peuvent nuire à l'écoulement des vents dominants du nord-ouest qui soufflent à l'automne, en hiver et au printemps. Les obstacles provoquent une ascension du vent qui contourne l'obstacle par le haut en tourbillonnant, ce qui le rend turbulent et non uniforme à l'approche d'un bâtiment ventilé naturellement. Selon la vitesse du vent et la température de l'air, il peut en résulter des courants d'air. La turbulence peut aussi être responsable de courants descendants aspirés par les aérateurs de faîte et les cheminées.

Même les douces brises d'été venant du sud-ouest sont obstruées par des bâtiments, des brise-vent denses et même des silos. Tout obstacle situé en amont du bâtiment perturbe l'écoulement horizontal de l'air sur une distance en aval de l'obstacle allant jusqu'à dix fois la hauteur de celui-ci (figure 9.2). Étant donné qu'il est impossible de déplacer un bâtiment ou un brise-vent, la ventilation naturelle n'est pas une solution envisageable pour les bâtiments d'élevage situés en aval de tels obstacles. Privilégier dans leur cas la ventilation mécanique.

Dans le choix de l'emplacement d'un bâtiment ventilé naturellement, veiller à ce qu'à aucun moment de l'année il ne se trouve d'élément en amont du bâtiment qui fasse obstacle à la course du vent.

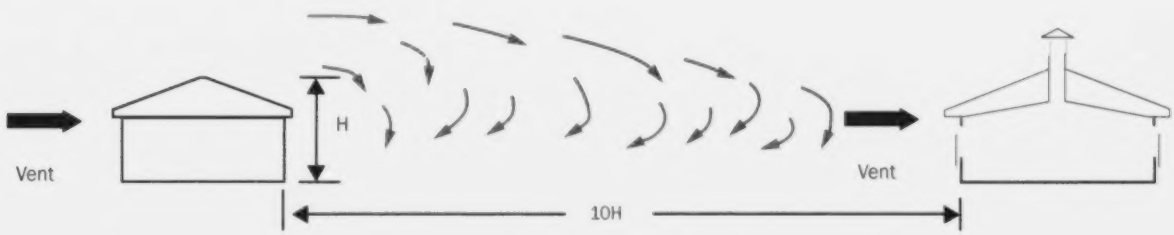


Figure 9.2 Obstacle à la course du vent contre-indiquant la ventilation naturelle dans le bâtiment en aval

9.2 Orifices de ventilation naturelle

9.2.1 Ouvertures dans les murs latéraux

Les ouvertures dans les murs latéraux servent d'entrées d'air ou de sorties d'air selon la direction du vent et les températures extérieures. Ces ouvertures dans les murs latéraux se prolongent sur toute la longueur du bâtiment, des deux côtés de celui-ci. Elles font normalement toute la hauteur du mur latéral moins 2 pi (0,6 m) si des rideaux flexibles sont utilisés pour régler l'ouverture réelle. Dans le cas des bâtiments chauffés dont les orifices de ventilation sont protégés par des panneaux rigides isolés, la hauteur est limitée à 6 pi (1,8 m) ou moins afin de garantir la rigidité de l'ensemble et afin de laisser suffisamment d'espace pour permettre au panneau de coulisser verticalement sous l'ouverture afin de dégager celle-ci pour une ventilation complète.

Ces rideaux ou panneaux verticaux sont faciles à monter ou à descendre à l'aide de câbles d'acier et de poulies et d'un treuil manuel ou d'un actionneur électrique commandé par la température. Différents systèmes peuvent être installés pour faire monter ou descendre les rideaux. Pendant la saison froide, on ouvre le haut des rideaux ou des panneaux rigides de sorte que l'air frais pénètre par le haut de l'ouverture. Ainsi, l'air a le temps de se réchauffer et de ralentir sa course avant de descendre sur les animaux.

Rideaux sur les murs latéraux

Dans le cas des animaux plus résistants au froid qui se passent pratiquement de chauffage, des rideaux non isolés sur les murs latéraux constituent un moyen économique et efficace de maîtriser la ventilation. Des rideaux flexibles sont aussi offerts en versions multicouches pour procurer une meilleure isolation thermique.

Ces « rideaux pare-vent », à couche unique ou multiple, qui recouvrent les orifices de ventilation naturelle pratiqués dans les murs portent en anglais le nom de « turkey curtains » parce qu'ils ont d'abord été utilisés dans le sud des États-Unis pour la ventilation des bâtiments d'élevage de dindons (« turkeys » en anglais).

Ces rideaux sont faits d'un plastique tissé résistant appelé Lumite ou d'une bâche de plastique à armature textile appelée Fabrene® STPNN (STPNN désignant sa résistance aux rayons UV du soleil).

Voici quelques-uns des avantages des rideaux sur les murs latéraux :

- On peut les régler facilement et rapidement en fonction des conditions météorologiques à l'aide d'un système à câbles utilisant des poulies et un treuil manuel ou un actionneur automatique; un treuil commande jusqu'à 250 pi (75 m) de rideaux.
- La superficie maximale des ouvertures permet de tirer parti des brises de l'été pour la ventilation durant les grandes chaleurs.
- Les rideaux monocouche transparents laissent passer la lumière naturelle.
- Le coût de ces rideaux est faible comparativement à celui des panneaux rigides.
- Les rideaux sont enroulables autour d'un tuyau, ce qui en facilite l'entretien et en prolonge la durée de vie utile.

Les inconvénients sont les suivants :

- On doit protéger les rideaux afin d'éviter que les animaux ne les mâchonnent. Pour ce faire, on installe les rideaux à l'extérieur des montants des murs et on fixe des planches espacées convenablement ou des matériaux de clôture (en métal ou en plastique) à l'intérieur des montants.
- Les rideaux risquent de battre au vent comme des voiles quand le vent s'élève. On doit bien les fixer et les soutenir pour éviter qu'ils soient endommagés par le vent. On peut les soutenir à l'aide d'un câble fort en nylon ou en plastique polyester tissé serré, tendu en zigzag à l'aide de boulons à œil situés au sommet et à la base de l'ouverture. Un câble à l'intérieur et un autre à l'extérieur du rideau s'opposent au vent soufflant respectivement vers le bâtiment et hors de celui-ci. Ne pas utiliser de câble de polypropylène bon marché, car celui-ci se détériore rapidement quand il est exposé au soleil. On peut aussi

utiliser des courroies ou des barres verticales à l'extérieur du rideau et des matériaux de clôture en plastique fort à l'intérieur (figure 9.3a).

- Les rideaux engendrent des pertes de chaleur accrues par rapport à des panneaux isolés. N'utiliser ces rideaux que dans les bâtiments qui n'ont pas besoin de chauffage d'appoint ou très peu (p. ex. dans ceux qui abritent des bovins laitiers, des bovins de boucherie, des moutons, des truies gestantes et des dindons à l'engrais).

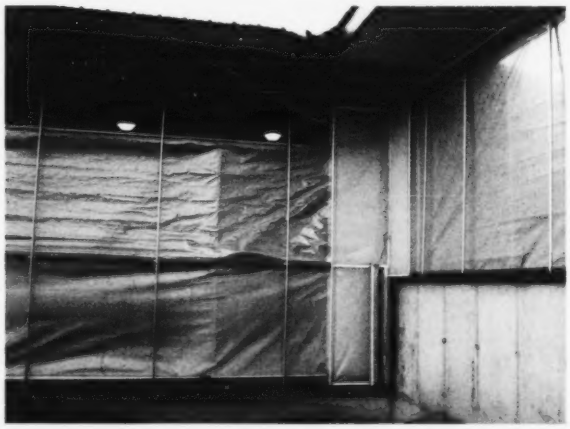


Figure 9.3a Rideaux dans le haut et le bas d'un mur latéral d'une étable laitière à stabulation libre

Panneaux rigides

Les panneaux rigides sont constitués de feuilles d'acrylique ou de polycarbonate claires qui assurent une pénétration maximale de la lumière, mais ne procurent qu'un minimum d'isolation (figure 9.3b) ou encore de panneaux à double paroi de fibre de verre ou de feuilles de plastique à lame isolante. Ils laissent pénétrer davantage la lumière et ont une meilleure valeur isolante que les rideaux décrits plus haut. L'inconvénient qu'ils présentent tient au fait que les panneaux peuvent geler dans les rails en position fermée ou semi-ouverte et engendrer ainsi des problèmes pour la ventilation.

Figure 9.3b Panneau rigide de type fenêtre dans un bâtiment abritant des bovins laitiers

On peut aussi fermer les ouvertures dans les murs latéraux à l'aide de tubes gonflables en polyéthylène (figure 9.3c). On gonfle ces tubes à l'aide de deux petits ventilateurs, puis on éteint l'un ou l'autre ou les deux ventilateurs si les températures s'élèvent, de manière à laisser dégonfler les tubes et à laisser entrer de l'air dans le bâtiment. Après une baisse de température, les ventilateurs se remettent en marche et gonflent les tubes pour refermer les ouvertures. Les principaux avantages de ces tubes sont une bonne pénétration de la lumière et une meilleure isolation qu'avec des rideaux. Les inconvénients viennent de la création d'ouvertures non souhaitées (et de problèmes de ventilation) quand de la glace se forme sur les tubes, quand les tubes se dégonflent à la suite d'une panne d'électricité ou si les tubes sont percés.

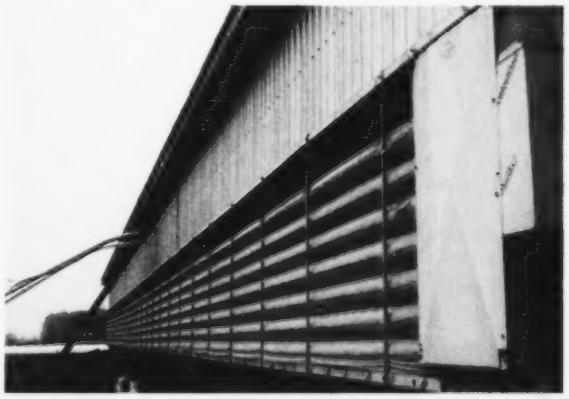


Figure 9.3c Tubes gonflables en polyéthylène faisant office de panneau de réglage de la ventilation naturelle dans une porcherie

Dimensions des ouvertures

La largeur des ouvertures dans les murs latéraux et le type de rideau ou de panneau utilisé dépendent du bâtiment, du climat local et du type d'élevage. Le critère de base dans le calcul des dimensions minimales de l'ouverture est d'offrir de chaque côté du bâtiment une superficie d'ouverture minimale correspondant à au moins 5 % de la surface de plancher du bâtiment.

Par exemple, un bâtiment de 50 pi de large x 120 pi de long (15 m x 37 m) abritant des génisses laitières aura des ouvertures dans les murs latéraux d'une superficie minimale de 300 pi^2, soit 50 pi x 120 pi x 5/100 (15 m x 37 m x 5/100 = 27,8 m^2). Si la longueur nette de l'ouverture est de 100 pi (30 m), la hauteur d'ouverture nette minimale sera de 3 pi (1 m) de chaque côté du bâtiment. Si l'on utilise un simple rideau qu'on déplie, la hauteur d'ouverture sera d'au moins 4 pi (1,2 m) pour s'assurer que l'ouverture dégagée en été pourra être d'au moins 3 pi (1 m).

Les recherches menées par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario montrent que des panneaux verticaux assortis de pare-vent (figure 9.4) ont tendance à atténuer les fluctuations de température et à améliorer la distribution et le mélange de l'air à l'intérieur des locaux. Attacher une bavette de tissu ou de plastique de 12 po (300 mm) de large au débord de toit devant la fente de la prise d'air. Ce pare-vent cause de la turbulence et réduit la vitesse de l'air qui pénètre dans le bâtiment. On peut laisser la bavette en place toute l'année pourvu que l'ouverture nette soit suffisamment large.

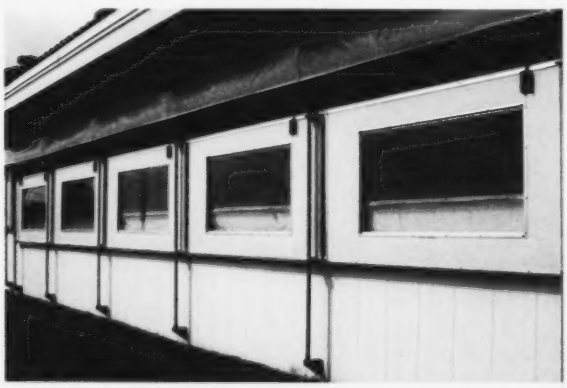


Figure 9.4 Bavette pare-vent installée devant l'ouverture prévue par temps froid

L'expérience pratique révèle une réduction sensible des courants d'air quand un matériau s'apparentant à un écran de plastique appelé toile à ombrer (ayant une porosité de 30 à 40 %) est posé en permanence dans les premiers 12 po (300 mm) de l'ouverture, de sorte que le rideau ou panneau glisse directement par-dessus. Un peu comme la bavette brise-vent, la toile à ombrer amortit le vent et en réduit la vitesse d'entrée. La toile à ombrer s'est révélée très utile sur les bâtiments abritant des animaux plus sensibles comme des veaux laitiers et des porcs d'engraissement (figure 9.5).

Figure 9.5 Toile à ombrer ayant une porosité de 30 à 40 % utilisée pour couvrir les premiers 12 po (300 mm) du mur

Ouvertures dans les murs d'extrémité

Quand le vent souffle parallèlement au bâtiment, des zones de faible circulation de l'air ou des poches d'air stagnant se forment près des extrémités du bâtiment. Installer des dispositifs d'ouverture réglables dans les deux murs d'extrémité, s'il est possible de le faire, afin d'améliorer la circulation de l'air à ces endroits. Les ouvertures dans les murs d'extrémité – le plus souvent les portes servant au nettoyage dans les étables laitières et les bâtiments d'élevage de dindons – sont réglées manuellement pendant l'été et maintenues fermées pendant le reste de l'année. Dans les porcheries, il est fréquent de trouver plusieurs panneaux sur les murs d'extrémité.

9.2.2 Ouvertures dans le toit

Les ouvertures au faîte ou les cheminées sur le toit servent de sorties d'air pour l'évacuation de l'air vicié. Les jours les plus froids de l'année, toutefois, quand les prises d'air dans les murs latéraux sont susceptibles d'être fermées complètement pendant une bonne partie de la journée, il arrive que les ouvertures pratiquées dans le toit servent à la fois d'entrées d'air et de sorties d'air. Aussi, pour garantir une certaine ventilation, doit-on maintenir des ouvertures minimales au faîte.

Par temps froid, le gros de l'air s'échappe par les ouvertures au faîte. Par temps chaud, seulement 20 % de l'air environ est évacué par le faîte, l'air étant alors principalement évacué par la circulation transversale dans le bâtiment.

Il existe quatre types d'ouvertures dans le toit :

- aérateur de faîte;
- fente de faîte surmontée d'une coiffe de faîte;
- faîte modifié;
- cheminées.

Aérateur de faîte

Les bâtiments non chauffés sont dotés d'aérateurs de faîte continus qui se prolongent jusqu'à 8 pi (2,4 m) des deux extrémités du bâtiment (figure 9.6). La largeur de l'ouverture est d'environ 1-2 po/10 pi (25-50 mm/3 m) de largeur de bâtiment. Les aérateurs de faîte qui sont surélevés d'une hauteur égale à 1,5-2,0 fois la largeur de l'ouverture au faîte font profiter le bâtiment d'un effet de tirage accru. Un toit plat au-dessus de l'ouverture au faîte, offrant un dégagement égal au moins à la largeur de l'ouverture, a pour effet de réduire la quantité de pluie qui entre dans le bâtiment, sans compromettre l'évacuation de l'air vicié.

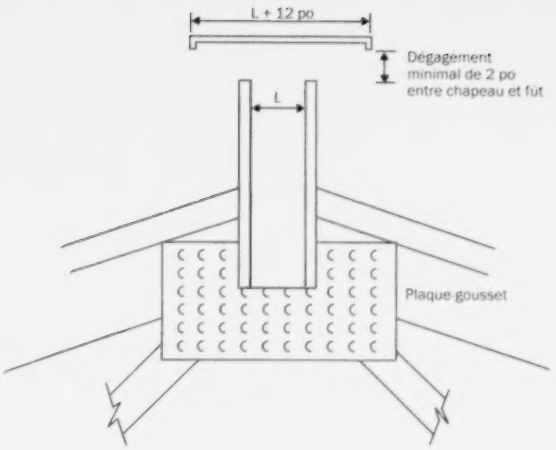


Figure 9.6 Aérateur de faîte continu

Fente de faîte surmontée d'une coiffe de faîte

Une coiffe de faîte comme celles qu'on trouve en Europe et qui sont faites de polycarbonate transparent de 30-36 po (760-900 mm) de largeur est une autre façon d'aménager l'ouverture au faîte. Cette coiffe protège de la pluie tout en augmentant la pénétration de la lumière dans le bâtiment (figure 9.7). Jusqu'ici, ces coiffes se sont comportées de façon satisfaisante dans les conditions hivernales, mais elles ne sont ni plus ni moins efficaces à empêcher la neige d'entrer que les aérateurs de faîte classiques.

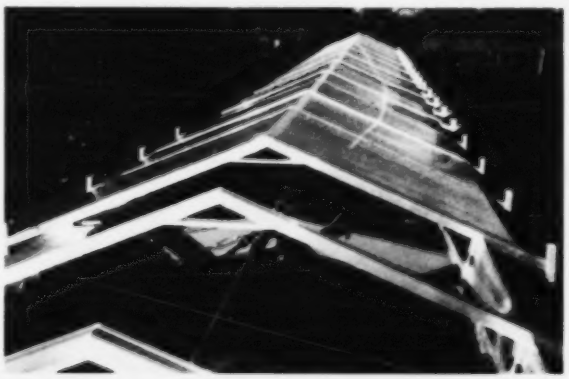


Figure 9.7 Coiffe de faîte en cours d'installation sur le toit d'une étable laitière

Source : Arntjen Group International.

Faîte modifié

Sur le toit de certains bâtiments, les pentes de toit sont décalées de manière à créer une ouverture verticale au faîte à la jonction des deux versants (figure 9.8). Cette ouverture est protégée par un rideau amovible semblable à ceux qu'on pose sur les prises d'air des murs latéraux. Le bâtiment est orienté de telle sorte que l'ouverture ne reçoive pas les vents dominants durant l'hiver. Le rideau est habituellement actionné à la main à l'aide d'un treuil et d'un système de câbles.

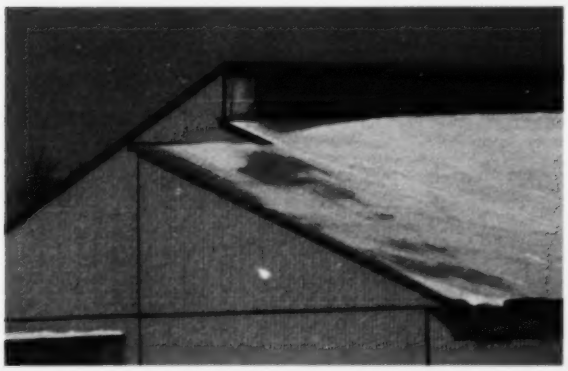


Figure 9.8 Faîte modifié créant une ouverture de faîte d'un seul côté sur le toit d'une étable laitière

9.2.3 Cheminées

On privilégie parfois une série de cheminées au lieu d'ouvertures continues au faîte pour les raisons suivantes :

- Les cheminées excluent plus efficacement les oiseaux. Si l'on installe des grillages pour les exclure, utiliser de préférence des grillages en plastique plutôt qu'en métal pour éviter la formation de givre en hiver.
- Le chapeau de cheminée élimine presque toutes les infiltrations de pluie et de neige (figure 9.9).
- Les cheminées n'exposent pas autant les fermes de toit et ne causent pas autant de détérioration que les ouvertures au faîte. Les défaillances des joints d'assemblage des fermes et la corrosion des plaques-goussets occasionnées par les ouvertures au faîte sont problématiques.
- Des cheminées isolées passent facilement par les vides sous-toit et procurent une excellent effet de tirage du fait de leur hauteur totale de fût.

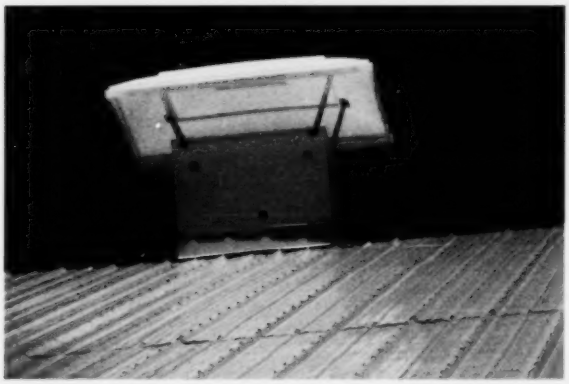


Figure 9.9 Cheminée ordinaire surmontée d'un chapeau de cheminée

Dimensionnement de la cheminée

L'expérience et la recherche ont fait évoluer les critères sur lesquels on s'appuie pour déterminer le nombre de cheminées nécessaires à un bâtiment et les dimensions que celles-ci doivent avoir. Voici certains de ces critères :

- La section de cheminée doit avoir une superficie minimale de :
  - 0,5 pi² (0,05 m²) par 100 pi² (10 m²) de surface de plancher s'il s'agit d'un bâtiment à un seul étage;
  - 1 pi² (0,1 m²) par 100 pi² (10 m²) de surface de plancher s'il s'agit d'un bâtiment à deux étages de type grange-étable et que la cheminée traverse le grenier.
- Il est recommandé de construire une cheminée pour chaque tranche d'au plus 2 000 pi² (190 m²) de surface de plancher.
- L'espacement des cheminées ne doit pas dépasser 50 pi (15 m), l'espacement optimal étant de 20-40 pi (4-12 m). Les bâtiments très larges comme les étables laitières à stabulation libre ont des cheminées espacées de 12-24 pi (3,7-7,3 m) (figure 9.10).

Figure 9.10 Espacement des cheminées sur le toit d'une étable laitière

Voici un exemple de calculs qui serviraient à dimensionner les cheminées et à en déterminer le nombre pour une étable laitière à stabulation libre mesurant 100 pi de large x 240 pi de long (30 m x 73 m) :

1. superficie totale de toutes les sections de cheminée : 100 pi x 240 pi x 0,5 pi²/100 pi = 120 pi² (10,95 m²)
2. nombre minimal de cheminées : 100 pi x 240 pi ÷ 2 000 pi² = 12 cheminées
3. espacement des cheminées : 240 pi /12 cheminées = 20 pi (6 m)
4. section de chaque cheminée : 120 pi² ÷ 12 cheminées = 10 pi² (0,91 m²)

Remarque : Les calculs indiquent qu'il faudrait 12 cheminées ayant chacune une section de 10 pi² (0,91 m²) et espacées de 20 pi (6 m) le long du faîte pour assurer une évacuation convenable par le toit. En considérant les formats des cheminées préfabriquées offerts sur le marché, on choisirait des cheminées de 3 pi x 3 pi (1 m x 1 m) pour cette installation. On pourrait aussi confier la construction des cheminées à un entrepreneur, afin que celles-ci s'insèrent parfaitement entre les paires de fermes de toit et aient la section de cheminée recommandée de 10 pi² (0,91 m²) chacune. Voir la figure 9.11 et le tableau 9.1 pour des précisions sur la fabrication sur mesure de cheminées.

Autres critères de conception des cheminées

- Doter chaque cheminée d'un registre de tirage situé dans la partie supérieure du conduit de manière à régler le débit en fonction des saisons et à maintenir la cheminée chaude et des courants d'air ascendants.
- Les cheminées qui font plus de 4 pi x 4 pi (1,2 m x 1,2 m) ont tendance à poser davantage de problèmes de courants d'air descendants. Il vaut mieux avoir deux petites cheminées qu'une seule qui soit très grosse.
- Isoler toutes les cheminées jusqu'à un coefficient de résistance thermique d'au moins R 10 (RSI 2). L'isolation réduit la condensation dans le conduit, évite que de l'eau ne dégoutte dans les locaux sous-jacents et évite que la cheminée et ses composants ne se détériorent trop rapidement.
- Prolonger le conduit de cheminée jusqu'à au moins 1,5 pi (450 mm) au-dessus du point le plus haut du toit, de manière à permettre un accès direct au vent venant de toutes les directions.

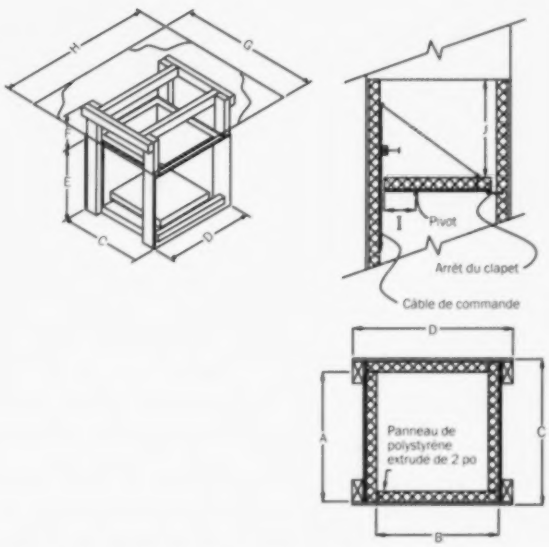


Figure 9.11 Croquis d'une cheminée construite sur mesure avec clapet rotatif (pour les dimensions, voir le tableau 9.1)

Tableau 9.1 Dimensions (selon croquis 9.11) suggérées pour les cheminées fabriquées sur mesure

Dimensions (I)	24 po x 24 po		24 po x 36 po		36 po x 48 po		48 po x 48 po	
Dimensions (M)	600 x 600 mm		600 x 900 mm		900 x 1 200 mm		1 200 x 1 200 mm	
A	24 po	600 mm	24 po	600 mm	36 po	900 mm	48 po	1 200 mm
B	24 po	600 mm	36 po	900 mm	48 po	1 200 mm	48 po	1 200 mm
C	27 po	676 mm	27 po	676 mm	39 po	976 mm	51 po	1 276 mm
D	30 po	750 mm	42 po	1 052 mm	54 po	1 352 mm	54 po	1 352 mm
E	24 po	600 mm	24 po	600 mm	36 po	900 mm	36 po	900 mm
F	12 po	300 mm	18 po	450 mm	24 po	600 mm	24 po	600 mm
G	48 po	1 200 mm	48 po	1 200 mm	60 po	1 500 mm	72 po	1 800 mm
H	48 po	1 200 mm	60 po	1 500 mm	72 po	1 800 mm	72 po	1 800 mm
I	6 po	150 mm	9 po	225 mm	12 po	300 mm	12 po	300 mm
J	18 po	450 mm	27 po	675 mm	36 po	900 mm	36 po	900 mm

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation naturelle

	Ouvertures dans les murs latéraux	
1.	Surface de plancher : _____ de large x _____ de long	pi^2
2.	5 % de la surface de plancher : _____ (ligne 1) x 5/100	pi^2
3.	Longueur d'ouverture nette disponible sur chaque mur latéral	pi
4.	Hauteur libre minimale de l'ouverture : _____ (ligne 2) pi^2 ÷ _____ (ligne 3) pi	pi
5.	Hauteur recommandée de l'ouverture pour permettre le fonctionnement du rideau en tenant compte des accessoires nécessaires à son fonctionnement : _____ (ligne 4) + dégagement nécessaire (2 pi ou 0,6 m)	pi
	Si des cheminées servent à l'évacuation par le toit	
6a.	Superficie totale de toutes les sections de cheminée sur le toit d'un bâtiment à un seul étage : _____(ligne 1) pi^2 x 0,5 pi^2/100 pi	pi^2
6b.	Superficie totale de toutes les sections de cheminée sur le toit d'un bâtiment à deux étages de type grange-étable lorsque la cheminée traverse le grenier : _____(ligne 1) pi^2 x 1,0 pi^2/100 pi	pi^2
7a.	Nombre de cheminées requises sur la base de 1 cheminée/2 000 pi^2 de surface de plancher : _____ (ligne 1) pi^2 ÷ 2 000 pi^2	#
7b.	Nombre de cheminées requises sur la base de 1 cheminée par 50 pi ou moins de longueur du local : _____ pi de longueur du local ÷ 50 pi	#
7c.	Nombre de cheminées requises sur la base d'autres critères de conception précisés par le concepteur	#
7d.	Choix du nombre de cheminées (7a, 7b ou 7c)	#
8.	Espacement des cheminées : _____ pi de longueur ÷ (ligne 7d)	pi
9.	Section de cheminée minimale : _____ (ligne 6a ou 6b) pi^2 ÷ _____ (ligne 7d)	pi^2
10.	Dimensions des cheminées permettant d'obtenir la section totale recommandée	pi x pi
	Si un aérateur de faîte sert à l'évacuation par le toit	
11a.	Largeur minimale de l'ouverture au faîte = 1 po/10 pi de largeur de bâtiment : _____ pi de largeur ÷ 10 pi x 1 po	po
11b.	Largeur maximale de l'ouverture au faîte = 2 po/10 pi de largeur de bâtiment : _____ pi de largeur ÷ 10 pi x 2 po	po
11c.	Choix de la largeur de l'ouverture au faîte : Fourchette allant entre les résultats obtenus en 11a et en 11b	po
12.	Longueur maximale de l'aérateur de faîte : _____ pi de longueur du bâtiment – (2 x 8 pi)	pi
13.	Hauteur de surélévation de l'aérateur = 1,5-2,0 fois la largeur de l'ouverture : _____ (ligne 11c) po x une fourchette de 1,5 à 2,0	po
14.	Dégagement minimal au-dessus l'ouverture au faîte : (ligne 11c)	po

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation naturelle – Exemple

Déterminer les dimensions minimales requises pour les prises d'air dans les murs latéraux et les aérateurs de faîte d'une étable à stabulation libre de 100 pi de large x 240 pi de long (30,48 m x 73,1 m) pourvue de murs latéraux de 12 pi (3,6 m) de haut.

	Ouvertures dans les murs latéraux	
1.	Surface de plancher : **100** pi x **240** pi	24 000 pi²
2.	5 % de la surface de plancher : **24 000** pi² x 5/100	1 200 pi²
3.	Longueur d'ouverture nette disponible sur chaque mur latéral	200 pi
4.	Hauteur libre minimale de l'ouverture : **1 200** pi² ÷ **200** pi	6 pi
5.	Hauteur recommandée de l'ouverture pour permettre le fonctionnement du rideau en tenant compte des accessoires nécessaires à son fonctionnement : 6 pi + 2 pi de dégagement nécessaire	8 pi
	Si des cheminées servent à l'évacuation par le toit	
6a.	Superficie totale de toutes les sections de cheminée sur le toit d'un bâtiment à un seul étage : **24 000** pi² x **0,5** pi²/**100** pi	120 pi²
6b.	Superficie totale de toutes les sections de cheminée sur le toit d'un bâtiment à deux étages de type grange-étable lorsque la cheminée traverse le grenier : _____ ___ pi² x 1,0 pi²/100 pi	s.o.
7a.	Nombre de cheminées requises sur la base de 1 cheminée par 2 000 pi² pi de surface de plancher : **24 000** pi² ÷ 2 000 pi²	12 cheminées
7b.	Nombre de cheminées requises sur la base de 1 cheminée par 50 pi ou moins de longueur du local : **240** pi de longueur du local ÷ 50 pi	5 cheminées
7c.	Nombre de cheminées requises sur la base d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.
7d.	Choix du nombre de cheminées (7a, 7b ou 7c)	12 cheminées
8.	Espacement des cheminées : **240** pi de longueur ÷ **12** cheminées	20 pi
9.	Section de cheminée minimale : **120** pi² ÷ **12**	10 pi²
10.	Dimensions des cheminées permettant d'obtenir la section totale recommandée	2,5 pi x 4,0 pi
	Si un aérateur de faîte sert à l'évacuation par le toit	
11a.	Largeur minimale de l'ouverture au faîte = 1 po/10 pi de largeur de bâtiment : **100** pi de largeur ÷ 10 pi x 1 po	10 po
11b.	Largeur maximale de l'ouverture au faîte = 2 po/10 pi de largeur de bâtiment : **100** pi de largeur ÷ 10 pi x 2 po	20 po
11c.	Choix de la largeur de l'ouverture au faîte : Fourchette allant entre les résultats obtenus en 11a et en 11b	11,25 po
12.	Longueur maximale de l'aérateur de faîte : **240** pi de longueur du bâtiment – (2 x 8 pi)	224 pi
13.	Hauteur de surélévation de l'aérateur = 1,5-2,0 fois la largeur de l'ouverture : **11,25** po x une fourchette de 1,5 à 2,0	fourchette de 17 à 22 po
14.	Dégagement minimal au-dessus l'ouverture au faîte : (ligne 11c)	11,25 po

Notes explicatives portant sur l'exemple de calculs servant au dimensionnement des systèmes de ventilation naturelle

1. Comme les dimensions minimales recommandées des ouvertures dans les murs latéraux pour la ventilation naturelle sont fonction de la surface de plancher, on détermine celle-ci en multipliant la longueur du bâtiment par sa largeur, ce qui donne 24 000 pi².
2. On établit que 5 % de la surface de plancher correspond à 1 200 pi².
3. Dans cet exemple, la longueur d'ouverture disponible sur chaque mur latéral pour la ventilation naturelle est de 200 pi sur les 240 pi de longueur que mesure le bâtiment.
4. La hauteur libre minimale de l'ouverture pour la ventilation naturelle est calculée en divisant la superficie d'ouverture requise par la longueur d'ouverture disponible, soit 1 200 pi² ÷ 200 pi = 6 pi.

5. Une fois descendu ou enroulé sur un tuyau, le rideau occupe quand même suffisamment d'espace, de sorte qu'il faut en tenir compte dans le calcul de l'ouverture nécessaire, afin que l'encombrement du rideau n'entrave pas la circulation de l'air. Cette hauteur supplémentaire est donc ajoutée à celle de l'ouverture. Le calcul servant à déterminer la largeur de l'ouverture dans les murs indique la largeur minimale recommandée. Il est bon de majorer la valeur obtenue afin de procurer une meilleure ventilation durant l'été.

6. Si des cheminées servent à l'évacuation par le toit, on doit remplir les lignes 6 à 10, afin de déterminer le nombre de cheminées nécessaires et leurs dimensions. Une plus grosse section de cheminée est nécessaire si la cheminée traverse un grenier de bonne hauteur. C'est que les pertes par friction sont plus grandes dans ces longs conduits de cheminée. Il s'agit de garder l'air suffisamment chaud dans la cheminée pour éviter qu'il ne se refroidisse trop avant d'atteindre le faîte. Dans le cas de cette étable à stabulation libre, il faut une superficie totale des sections de cheminée d'environ 120 pi^2.

7. Le nombre de cheminées requises est fonction d'une surface de plancher raisonnable par cheminée et de l'espacement des cheminées le long du bâtiment. Ces calcules suggèrent un nombre de cheminées allant de 5 à 12. Le concepteur du système de ventilation pourrait opter pour un nombre donné de cheminées en fonction de critères esthétiques ou d'un débit d'air précis, ce qui explique la pertinence de la ligne 7c.

8. Une fois qu'on a décidé du nombre de cheminées, il faut en déterminer l'espacement en divisant la longueur du bâtiment par le nombre de cheminées. Situer la première cheminée à la moitié de la cette distance à partir d'un mur d'extrémité, de sorte que chaque cheminée desserve une surface de plancher égale et que la symétrie de l'ensemble soit respecté sur toute la longueur du toit.

9. Le nombre total de cheminées et la superficie totale de toutes les sections de cheminée étant maintenant connus, on détermine la superficie requise pour chaque section de cheminée comme suit : 120 pi^2/12 cheminées, soit une superficie de 10 pi^2 pour chaque section de cheminée.

10. Plusieurs formats et modèles de cheminées procurent une section d'une superficie de 10 pi^2. Les données relatives aux ouvertures étant fournies à titre indicatif dans les directives portant sur la ventilation naturelle, il n'est pas indispensable d'arriver exactement au même nombre de pieds carrés. Même si l'on choisit une cheminée rectangulaire de 2,5 pi x 4,0 pi (0,7 m x 1,2 m), bien des entrepreneurs installeront sur ce type de bâtiment des cheminées de 3,0 pi x 3,0 pi (1 m x 1 m), ce qui procurera une ventilation tout aussi bonne.

11. Si l'on installe un aérateur de faîte plutôt que des cheminées isolées pour assurer l'évacuation par le toit, on effectuera les calculs demandés aux lignes 11 à 14. La largeur recommandée de l'ouverture au faîte se situe à l'intérieur d'une fourchette de 1-2 po/10 pi de largeur de bâtiment. Pour l'étable à stabulation libre de l'exemple, la fourchette de largeur est de 10-20 po. On choisit une largeur de 11,25 po qui est compatible avec la largeur de la pièce de bois de 2 po x 12 po qui pourrait avoir été choisie comme espaceur et pour la charpente des côtés de l'ouverture au faîte.

12. L'aérateur de toit doit se prolonger sur toute la longueur du bâtiment, à l'exception d'une longueur de 8 pi à partir de chaque mur d'extrémité. Cette mesure évite la création d'un courant d'air descendant qui risquerait de se former près des murs d'extrémité sous certaines conditions de vent.

13. Les aérateurs de faîte surélevés d'une hauteur égale à 1,5-2,0 fois la largeur de l'ouverture au faîte sont plus performants. Pour le bâtiment présenté dans l'exemple, la hauteur de surélévation se situe dans la fourchette de 17-22 po. Selon le matériau choisi, cette hauteur pourrait être de 20 po.

14. La plupart des aérateurs de faîte sont surmontés d'un toit plat qui empêche la pluie et la neige de pénétrer dans le bâtiment. La présence de cet élément oblige à prévoir un dégagement entre le sommet de la paroi surélevée de l'aérateur et la sous-face du toit qui le recouvre égal au moins à la largeur de l'ouverture au faîte.

9.3 Régulation des systèmes de ventilation naturelle

9.3.1 Variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air

Sur une année, les températures extérieures peuvent être chaudes, fraîches, froides et très froides. Les schémas de circulation de l'air intérieur se modifient complètement sous ces différentes températures en fonction de la plus ou moins grande largeur d'ouverture des orifices destinés à la ventilation naturelle. Les figure 9.12 a à d illustrent des schémas courants de circulation de l'air et de distribution des températures au fil des saisons.

Temps chaud – Température extérieure supérieure à 20 °C (été)

Quand la température extérieure est supérieure à la température intérieure de consigne du régulateur, le système de régulation automatique commande l'ouverture maximale des rideaux et des panneaux situés sur les murs latéraux. Par la force du vent, de forts volumes d'air pénètrent alors par les ouvertures qui se trouvent dans le mur qui fait face au vent. Les effets de poussée thermique sont négligeables vu le faible écart entre les températures extérieure et intérieure au cours de ces périodes. L'air entrant longe le plafond, se mélange avec l'air intérieur et recircule en se dirigeant vers le sol et vers le côté sous le vent du bâtiment. Les animaux préfèrent se reposer dans ces zones de recirculation de l'air (figure 9.12a).

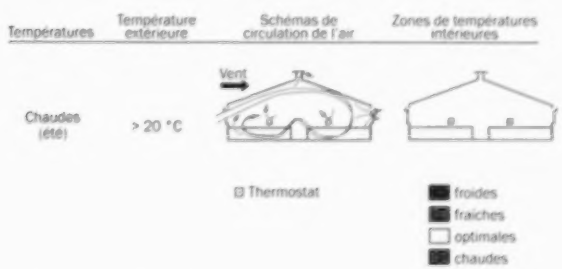


Figure 9.12a Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Été

Temps frais – Température extérieure entre +5 et 20 °C (printemps et automne)

La plupart des animaux logés dans les bâtiments chauffés ventilés naturellement procurent des rendements optimaux à l'intérieur d'une fourchette de températures de 10-20 °C. Si le régulateur est réglé à 18 °C, ce qui est souvent le cas pour les porcs de finition, et que les températures extérieures descendent sous cette température, le système de régulation automatique réagit en commandant la fermeture partielle des ouvertures sur les murs latéraux. Le volume d'air entrant se trouve réduit et les schémas de circulation de l'air obtenus procurent une circulation moins forte que durant les chaleurs estivales. L'air entrant ne traverse pas complètement les locaux à la hauteur du plafond, mais a tendance à tomber et à ne traverser que partiellement le bâtiment dans le sens de la largeur avant de sortir par les ouvertures au faîte et dans les murs situés sous le vent. La température de l'air entrant durant ces périodes est légèrement plus fraîche qu'à l'intérieur, mais pas n'est assez froide pour tomber immédiatement au sol à son entrée dans le bâtiment. Les conditions et les schémas de circulation de l'air observés durant ces périodes fraîches sont qualifiés d'intermédiaires ou de printaniers et automnaux (figure 9.12b).

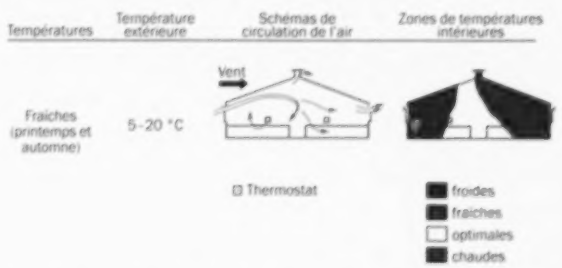


Figure 9.12b Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Printemps et automne

Temps froid – Température extérieure entre -15 et +5 °C (hiver)

À mesure que le temps se refroidit, le système de régulation automatique continue de réduire la largeur des ouvertures dans les murs latéraux. Le vent perd alors de son influence étant donné que les volumes

d'air entrant se trouvent considérablement réduits. L'effet thermique gagne en importance au fur et à mesure que l'écart s'élargit entre les températures extérieure et intérieure. Dès son entrée dans les locaux, l'air froid tombe au sol, mais, en raison de la turbulence, il se mélange avec l'air intérieur et se réchauffe dans les 6-10 pi (2-3 m) du mur. L'air s'élève ensuite et recircule lentement en se dirigeant vers les ouvertures situées au faite et sur le mur sous le vent (figure 9.12c).

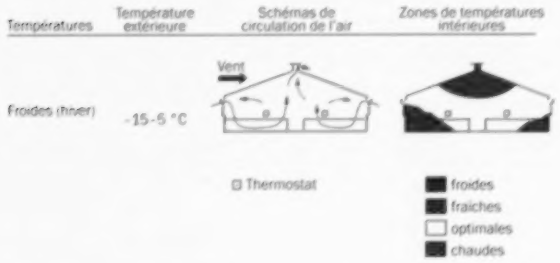


Figure 9.12c Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Hiver

Temps très froid – Température extérieure inférieure à -15 °C (jours très froids de l'hiver)

Par temps très froid, les ouvertures dans les murs latéraux sont tenues temporairement fermées complètement des deux côtés du bâtiment. Les ouvertures au faite servent alors à la fois d'entrées d'air et de sorties d'air. Les débits d'air sont faibles et les ouvertures permettent tour à tour à l'air d'entrer et de sortir en fonction du vent qui souffle à l'extérieur ou de la poussée thermique qui se produit à l'intérieur. De l'air s'infiltre aussi dans le bâtiment à la faveur des fissures ou perforations dans l'enveloppe. Les déplacements d'air à l'intérieur du bâtiment sont plus variables et sont attribuables à la poussée thermique engendrée par la chaleur qui se dégage des animaux et par l'air froid entrant (figure 9.12d).

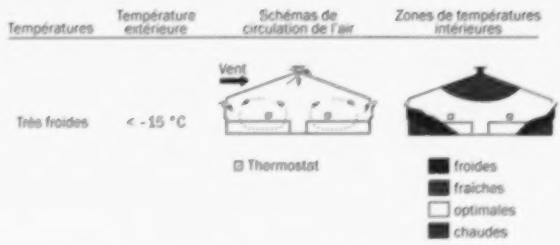


Figure 9.12d Illustration des variations saisonnières dans les schémas de circulation de l'air intérieur – Jours très froids de l'hiver

Effet de la direction du vent

La direction du vent influence les schémas de circulation de l'air, particulièrement durant l'été quand les ouvertures dans les murs latéraux sont grandes ouvertes. Cette influence est illustrée par la figure 9.13. Quand le vent souffle perpendiculairement à un mur latéral, le circulation d'air à l'intérieur est uniforme sur toute la largeur du bâtiment. Toutefois, quand le vent souffle selon un angle de 45 ° par rapport au mur latéral, la circulation de l'air décrit un mouvement de rotation à l'intérieur du bâtiment. Le taux de renouvellement d'air est alors légèrement plus élevé à l'extrémité sous le vent et moins élevé à l'extrémité face au vent du bâtiment. Par conséquent, les températures sont plus chaudes à l'extrémité face au vent. De la même façon, quand le vent souffle parallèlement à la longueur du bâtiment, la circulation de l'air à l'extrémité face au vent du bâtiment est plus faible et les températures y sont légèrement plus élevées que dans d'autres parties du bâtiment. En présence tels vents longitudinaux, des ouvertures sur les murs d'extrémité favorisent une meilleure circulation d'air et des températures plus uniformes à la grandeur du bâtiment.

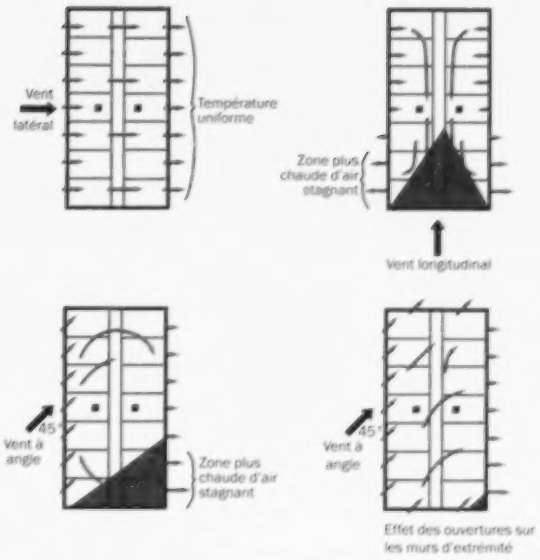


Figure 9.13 Influence de la direction du vent sur les schémas de circulation de l'air durant l'été

9.3.2 Régulateurs commandant la ventilation naturelle

Le système de régulation de la ventilation naturelle règle le taux de renouvellement d'air en ouvrant ou en fermant les entrées d'air et les sorties d'air. Deux types de systèmes sont utilisés de nos jours :

- les systèmes de régulation manuelle;
- les systèmes de modulation automatique des débits.

Régulation manuelle

Les systèmes de régulation manuelle ne sont pas recommandés dans les bâtiments chauffés, sauf pour les ouvertures au faîte ou pour les cheminées. Ce système nécessite des réglages manuels fréquents des panneaux latéraux et des aérateurs de faîte dès que surviennent des changements dans les conditions météorologiques. Au printemps et à l'automne, les variations quotidiennes de vent et de température exigent de nombreux réglages des ouvertures dans les murs latéraux, qui peuvent devenir pénibles pour l'exploitant. Les dispositifs de régulation d'ambiance qui ont recours à des treuils manuels sont peu fiables et peu pratiques.

Systèmes de modulation automatique des débits

Ces systèmes comportent :

- des capteurs de température;
- un régulateur relié à une minuterie;
- des actionneurs électriques.

La minuterie détermine à quelle fréquence et pendant combien de temps faire fonctionner les actionneurs. Si les panneaux sont actionnés trop souvent ou si on les ouvre trop d'un seul coup, les variations abruptes et de grande amplitude des taux de renouvellement d'air provoqueront des fluctuations de températures dans le local. Si les panneaux s'ouvrent et se ferment trop lentement ou si on ne les ouvre pas assez ou on ne les ferme pas assez à chaque fois, il sera difficile pour le système de réagir suffisamment rapidement à un changement dans les conditions météorologiques. Pour une bonne régulation des températures, il faut régler la minuterie, de sorte qu'elle active le système toutes les 2-3 minutes, de sorte que lorsque le système est en marche, il reste actif suffisamment longtemps pour permettre aux rideaux ou aux panneaux de se déplacer d'environ 0,5 po (12 mm) par temps froid et d'environ 1,5 po (38 mm) par temps doux. Le tableau 9.2 illustre comment cette stratégie fonctionne. En général, le temps de fermeture est d'environ 30 % plus grand que le temps d'ouverture, de manière à s'assurer d'une réaction plus rapide du système lorsqu'une baisse soudaine des températures commande la fermeture des panneaux.

Tableau 9.2 Réglages normaux des régulateurs de la ventilation naturelle

Paramètre	Automne-hiver-printemps	Conditions estivales
Température de consigne	selon le type d'élevage	selon le type d'élevage
Différentiel de température	± 0,5-1,0 °C	± 1,0 °C
Durée d'ouverture	X secondes (ouverture de 0,5 po)	Y secondes (ouverture de 1,5 po)
Durée de fermeture	1,3 X secondes (fermeture de 0,65 po)	1,3 Y secondes (fermeture de 2,0 po)
Fréquence des cycles	100-150 secondes	120-180 secondes

Le régulateur vérifie les températures indiquées par les capteurs toutes les 2-3 minutes selon la fréquence

des cycles qui a été programmée et détermine s'il y a lieu de modifier le degré d'ouverture des panneaux en s'appuyant sur le différentiel de température. Si la température se situe à l'intérieur de la plage de températures correspondant au différentiel, l'actionneur des panneaux n'est pas activé. Si la température tombe en dehors de cette plage, l'actionneur commande la fermeture des panneaux (si la température a trop baissé) ou l'ouverture des panneaux (si la température a trop monté) pendant un temps précis.

L'hiver, installer des interrupteurs de fin de course ou des butées mécaniques pour empêcher les rideaux ou panneaux de s'ouvrir sur plus du tiers ou de la moitié de la largeur maximale. Ces dispositifs empêchent les panneaux de s'ouvrir complètement à la suite d'un mauvais fonctionnement du système de commande par temps froid.

Emplacement et réglage des capteurs de température du régulateur

Il est indispensable de placer les capteurs au bon endroit afin que sur une superficie maximale, les températures se situent à l'intérieur de la zone thermoneutre des animaux. Par exemple, dans le cas de porcs de finition, il faut veiller à ce que les températures se situent à l'intérieur de cette zone dans toute l'aire de couchage. Il faut alors placer les capteurs à environ 4 pi (1,2 m) au-dessus du sol, à une distance de 10-12 pi (3-4 m) des murs latéraux et à mi-largeur des cases. Appliquer sensiblement les mêmes critères pour les aires de gestation. Afin d'éviter des dommages mécaniques, suspendre les capteurs au plafond, afin qu'ils puissent bouger librement s'ils sont heurtés par un travailleur ou un animal.

Dans les étables laitières à stabulation entravée, placer les capteurs à 10-12 pi (3-4 m) d'un mur latéral, au-dessus d'une cloison de stalle, hors de portée des animaux (figure 9.14a). Dans les étables à stabulation libre, placer les capteurs dans la première allée à partir du mur, hors de portée des animaux (figure 9.14b). Prendre soin de régler tous les régulateurs à la même température afin qu'ils fonctionnent de manière harmonieuse et qu'ils procurent une température uniforme dans tout le bâtiment. Le capteur situé devant chaque rideau ou panneau commande l'actionneur de cette prise d'air en particulier.

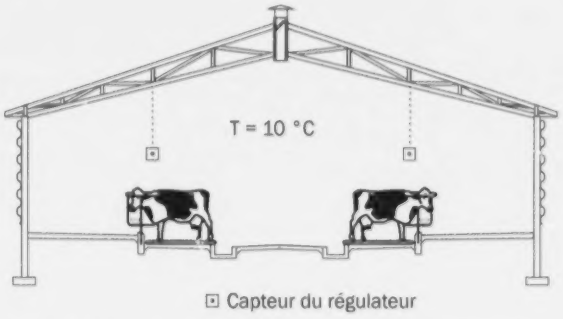


Figure 9.14a Emplacements suggérés des capteurs des régulateurs dans les étables laitières à stabulation entravée

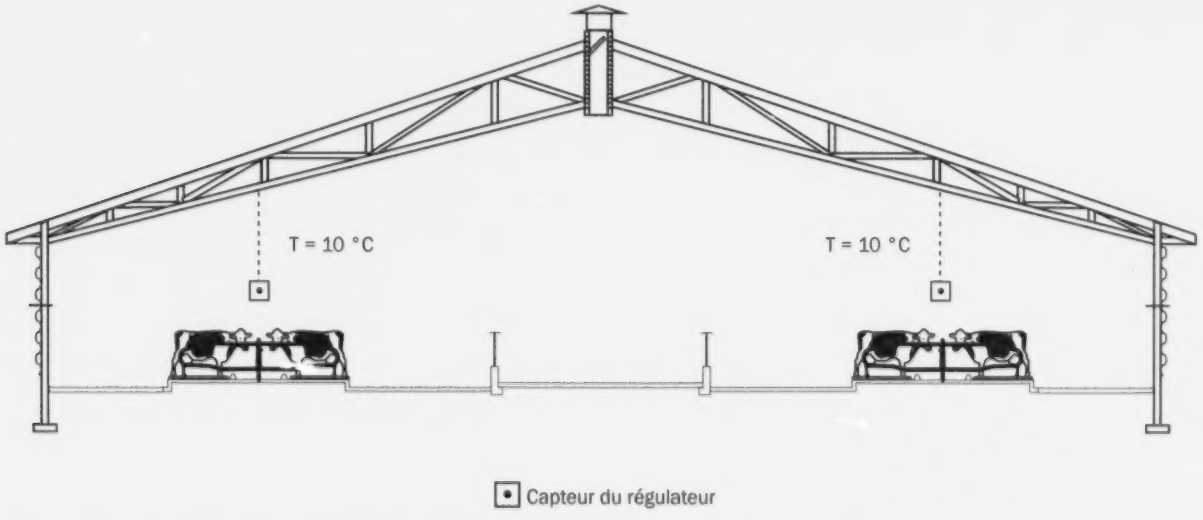


Figure 9.14b Emplacements suggérés des capteurs des régulateurs dans les étables laitières à stabulation libre

Plus le bâtiment est long, plus les mécanismes sont sollicités lors de l'ouverture et de la fermeture des rideaux ou des panneaux, surtout en cas de problèmes occasionnés par le givre. Il risque davantage d'y avoir des gradients thermiques sur la longueur du bâtiment. C'est pourquoi il faut limiter les longueurs de panneaux à environ 120 pi (36 m). Si le bâtiment est plus long, utiliser deux panneaux dotés d'un régulateur distinct pour chacun (figure 9.15). Placer les capteurs à mi-longueur du panneau qu'il commande, à moins qu'il faille un plus grand degré de maîtrise des températures, auquel cas on utilisera de longs rideaux et la moyenne des deux capteurs de température.

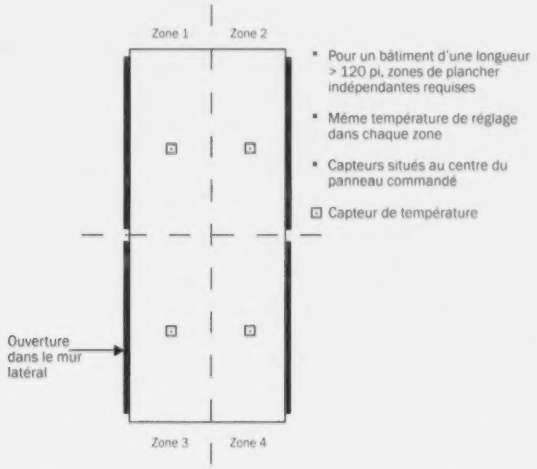


Figure 9.15 Emplacements des capteurs des régulateurs

Commande des clapets de cheminée

Installer un clapet réglable (figure 9.16) dans chaque cheminée, afin de réduire l'ouverture si la saison le demande. Le clapet en conçu de sorte que même en position complètement fermée, il reste un jour d'environ 1 po (25 mm) tout autour qui laisse un minimum d'air passer. Cet espace évite que le givre qui pourrait se former par la condensation n'immobilise le clapet en position fermée.

Figure 9.16 Clapet installé à l'intérieur d'un conduit de cheminée isolé

Certaines cheminées sont fermées et complètement étanches lorsque les exigences de ventilation minimale sont de beaucoup réduites (p. ex. à l'arrivée d'une bande d'animaux dans un élevage conduit selon le système de la conduite en bande, ou quand un bâtiment n'est rempli que partiellement). Placer les clapets le plus haut possible dans la cheminée, afin de garder le conduit de cheminée chaud et de réduire ainsi au minimum la formation de condensation.

L'ouverture minimale réelle utilisée est déterminée sur place en fonction de la densité animale, du taux d'humidité et de la température souhaitée dans le bâtiment. Les cheminées peuvent être commandées automatiquement en fonction de la température de la même façon que les panneaux des murs latéraux. On utilise un treuil manuel pour régler l'ouverture du clapet de la cheminée en fonction des saisons. Le tableau 9.3 indique les réglages approximatifs des clapets des cheminées en fonction des températures extérieures; ces réglages peuvent varier selon les conditions climatiques locales.

Tableau 9.3 Réglages approximatifs des clapets des cheminées

Températures extérieures	Réglage approximatif des clapets
< 0 °C	ouverts de 0 à 10 %
0-10 °C	ouverts de 20 à 40 %
> 10 °C	ouverts à 100 %

Commande des aérateurs de faîte

La plupart des aérateurs de faîte viennent avec une ouverture fixe n'offrant aucune possibilité de réglage. Certains aérateurs de fabrication européenne comportent un déflecteur réglable commandé manuellement à l'aide d'un treuil ou automatiquement à l'aide d'un actionneur à câbles et d'un capteur de température. La plupart sont commandés manuellement, les réglages n'étant que saisonniers.

9.3.3 Autres facteurs influençant la performance

Pente du plafond

Les plafonds plats conviennent très bien, mais les plafonds inclinés favorisent une meilleure circulation d'air durant l'été. Si le plafond est incliné, toutefois, le volume d'air accru à l'intérieur risque, par temps froid, de nuire à l'équilibre thermique si le bâtiment abrite des animaux plus petits et plus sensibles.

Déviation du vent en amont

La ventilation naturelle est plus efficace quand le vent poursuit sa course librement en amont du bâtiment quelle que soit l'angle selon lequel il souffle. La ventilation naturelle n'est pas recommandée si le bâtiment est flanqué de structures imposantes, particulièrement du côté d'où viennent les vents dominants durant l'été. Ces structures agissent comme des brise-vent et réduisent la vitesse du vent.

Bâtiments cloisonnés

Quand un bâtiment ventilé naturellement est divisé longitudinalement en deux locaux ou plus, le local situé du côté face au vent semble bénéficier d'un taux de renouvellement d'air plus élevé pour une ouverture donnée dans un mur latéral (figure 9.17). Des ventilateurs de circulation intérieurs sont utiles pour contribuer à éliminer d'éventuelles zones d'air stagnant dans les locaux situés du côté sous le vent du bâtiment.

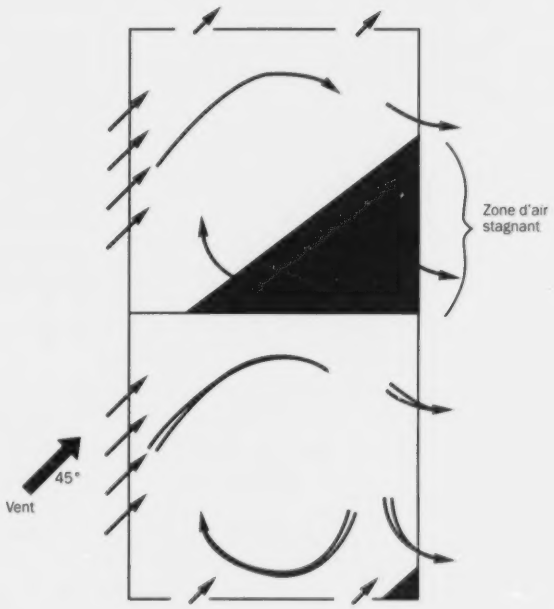


Figure 9.17 Effet de la direction du vent sur les schémas de circulation de l'air

9.4 Modernisation de bâtiments existants

Pour que la conversion à la ventilation naturelle de bâtiments déjà construits donne de bons résultats, il faut pouvoir compter sur des ouvertures suffisantes et uniformes dans les murs latéraux. Celles-ci doivent représenter 5 % de la surface de plancher le long de chaque mur latéral. Cette condition est parfois difficile à respecter dans le cas de vieux bâtiments à deux étages de type granges-étables. Les cheminées sont parfaites comme sorties d'air. On doit les dimensionner suivant les directives présentées plus haut dans le présent chapitre. En raison de la hauteur du grenier, les cheminées sont parfois difficiles à construire dans les granges-étables. Certains producteurs construisent des cheminées courtes et évacuent l'air directement dans le grenier, mais cette pratique n'est pas recommandée, à moins que le grenier ne bénéficie d'une ventilation naturelle suffisante pour l'évacuation de tout l'air chaud et humide.

9.5 Ventilation naturelle des bâtiments à façade ouverte

La ventilation naturelle est la solution préconisée pour la plupart des bâtiments d'élevage dans lesquels la température peut être inférieure à 10 °C pendant des périodes prolongées. Même si le bâtiment ainsi ventilé n'est pas exempt de courants d'air, les courants d'air y sont moins importants que dans les bâtiments non chauffés ayant recours à la ventilation mécanique pour l'extraction de l'air vicié. La ventilation naturelle laisse pénétrer la lumière du jour à profusion, est silencieuse et s'assortit de coûts de fonctionnement minimes. Certains systèmes de ventilation naturelle rendent possible l'utilisation de méthodes de construction moins coûteuses et engendrent de plus grands débits d'air que les ventilateurs classiques.

Le gros avantage d'un bâtiment non chauffé est la réduction des coûts de construction. Dans ces bâtiments, les murs sont complètement ou partiellement ouverts, certains d'entre eux utilisant des rideaux de plastique pour maîtriser le degré de ventilation (figure 9.18). Normalement, ces bâtiments comportent un aérateur de faîte. Même si bien des bâtiments non chauffés sont dépourvus d'isolant dans les murs et au plafond, cette pratique n'est pas recommandée dans les bâtiments destinés à abriter des animaux. Un minimum d'isolation est en effet nécessaire pour prévenir les problèmes de condensation.

Figure 9.18 Bâtiment à charpente à poteaux et à façade ouverte destiné à abriter des animaux

Dans un bâtiment non chauffé, s'il fait -20°C à l'extérieur, il se peut qu'il ne fasse que -18°C ou qu'il fasse encore plus froid à l'intérieur. La chaleur produite par les animaux conjuguée à l'isolation du bâtiment permettent de maintenir à l'intérieur une température d'au moins 5 °C plus élevée qu'à l'extérieur, et de ce fait une meilleure circulation de l'air attribuable à une poussée thermique accrue. Ce type de bâtiment non chauffé oblige à protéger du gel les conduites d'eau et les abreuvoirs ainsi que le système d'évacuation du fumier. Il présente par ailleurs certains risques :

- les infiltrations de neige et de pluie par l'aérateur de faîte;
- la condensation et la formation de givre sur les éléments non isolés de la structure;
- les courants d'air durant l'hiver;
- l'inconfort des travailleurs.

La ventilation d'un bâtiment non chauffé est différente de la ventilation mécanique classique ou même de la ventilation naturelle de bâtiments chauffés. En Ontario, bon nombre des bâtiments d'élevage non chauffés sont de vieilles granges-étables qui, après avoir été rénovées, servent de locaux d'élevage à stabulation libre. Ces bâtiments sont mal ventilés. L'humidité peut s'échapper par les diverses ouvertures et par le plafond pour se retrouver dans le foin et la paille engrangés au-dessus. Ce type de bâtiment sert à garder des bovins de boucherie, des bovins laitiers, des moutons et des chevaux. Ils servent aussi parfois au logement à des truies taries.

L'autre type de structure non chauffée destinée à abriter des animaux est le bâtiment à charpente à poteaux et à façade ouverte. Les animaux sont gardés sur litière accumulée, ce qui leur procure une litière qui ne gèle pas, pour peu qu'elle soit gérée convenablement. Le bâtiment est habituellement flanqué d'une aire d'exercice de superficie au moins égale à la sienne. L'aire d'affouragement est située à l'intérieur ou à l'extérieur selon l'épaisseur de la couche de neige durant l'hiver.

Ce type de bâtiment est ventilé naturellement par les vents et les courants de convection. Il faut plus d'air que dans des bâtiments tempérés vu que chaque litre d'air parvient à évacuer assez peu d'humidité quand l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur est faible. Les problèmes associés à ce type de bâtiment sont liés à la difficulté à maintenir l'environnement sec tout en assurant un déplacement suffisant de l'air à l'intérieur.

Un bâtiment d'élevage à façade ouverte doit faire face au sud ou à l'est, à moins qu'il se trouve un élément, structure ou autre, faisant office de brise-vent en amont, afin de freiner la course du vent (figure 9.19). Dans ce type de bâtiment, la ventilation risque d'être excessive. On réduit la circulation de l'air à l'intérieur en fermant partiellement la façade ouverte.

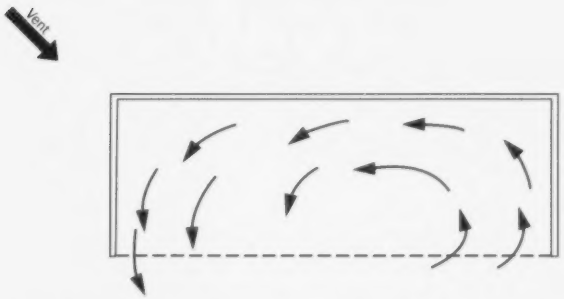


Figure 9.19 Circulation de l'air à l'intérieur d'un bâtiment à façade ouverte

Si le bâtiment à façade ouverte fait face au sud, fermer la façade sur les premiers 8-12 pi (2,4-3,6 m) du côté est (figure 9.20a). S'il fait face à l'est, la fermer sur les 8-12 pi (2,4-3,6 m) du côté sud. S'il faut réduire encore davantage les débits d'air à l'intérieur, fermer la façade sur les premiers 8-12 pi (2,4-3,6 m) de l'autre côté. En principe, il faut toujours laisser le centre ouvert, mais il y a des exceptions, notamment dans le cas de bâtiments très longs, qui mesurent plus de 200 pi (60 m) de long et qui sont sujets à la formation de courants d'air au milieu du bâtiment. Dans leur cas, on installe un rideau pare-vent ou une cloison amovible quelconque (voir l'illustration à la figure 9.20b) de manière à diviser le bâtiment en deux locaux plus petits.

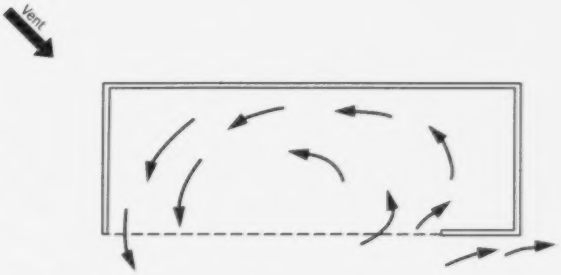


Figure 9.20a Façade partiellement fermée dans le but de réduire la ventilation dans le bâtiment

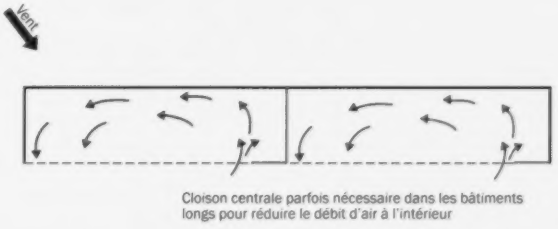


Figure 9.20b Cloisonnement d'un bâtiment long destiné à réduire les courants d'air longitudinaux

Si les brise-vent sont contre-indiqués dans le cas d'un bâtiment chauffé ventilé naturellement, un brise-vent est au contraire très utile dans le cas d'un bâtiment à façade ouverte, surtout s'il possède une cour. Il existe deux types de brise-vent : les brise-vent naturels et les clôtures brise-vent, qui constituent des brise-vent artificiels.

Brise-vent naturels

Aménager un brise-vent en plantant des arbres à une distance d'au moins 60-65 pi (18-20 m) en amont du bâtiment ou de la cour à protéger. La distance maximale est variable. L'influence du brise-vent est ressentie en aval sur une distance égale à dix fois sa hauteur. Cela signifie qu'un brise-vent constitué d'arbres de 20 pi (6 m) de hauteur influence la course du vent sur une distance de 200 pi (60 m) en aval (figure 9.21). On plante deux ou trois rangées de conifères. La hauteur des arbres à maturité variant selon l'espèce, on choisit une variété d'espèces. Pour un brise-vent fait de deux rangées d'arbres, on plantera une rangée de thuyas et une rangée d'épinettes. Pour un brise-vent fait de trois rangées d'arbres, utiliser des thuyas, des pins et des épinettes. Ainsi, quand

l'épinette parvient à maturité et que les branches du bas meurent, le thuya, qui conserve ses branches basses, continue d'offrir une protection contre le vent au ras du sol.

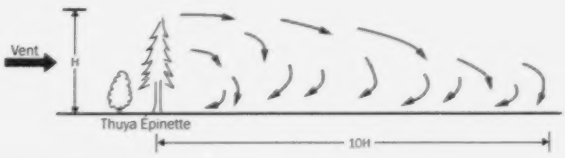


Figure 9.21 Utilisation d'arbres comme brise-vent

Clôtures brise-vent

Afin de protéger du vent les bâtiments et parcs d'engraissement situés à des endroits qui se prêtent peu à l'aménagement de brise-vent naturels, on utilise des clôtures brise-vent. Si la neige ne pose pas problème, on utilise des clôtures ouvertes ou poreuses (figure 9.22). Une porosité de 20 à 25 % procure la meilleure protection contre le vent. Ce type de brise-vent permet encore à un peu d'air de passer, mais il réduit les courants d'air. La hauteur de la clôture dépend des dimensions de l'aire à protéger. La hauteur minimale habituelle est de 8-10 pi (2,5-3,0 m) (tableau 9.4).

Figure 9.22 Brise-vent à 20 % poreux

Figure 9.23 Clôture faisant office de brise-vent poreux

Tableau 9.4 Espacement des planches d'une clôture brise-vent

	Largeur des fentes	
Dimensions des planches (pi)	Bois d'œuvre brut (po)	Bois d'œuvre raboté (po)
1 x 4	⅞	¾
1 x 6	1⅜	1⅛
1 x 8	1¾	1⅝
1 x 10	2	2
1 x 12	2	2

Source : Midwest Plan Service Handbook, *Beef Housing and Equipment Handbook*, Fourth Edition, 1987.

Les planches de plus de 10 po (254 mm) de largeur sont moins efficaces. Les ouvertures de plus de 2 po (51 mm) ne sont pas recommandées, car elles laissent passer trop d'air au même endroit.

Si la neige est un point à considérer, on privilégiera une clôture brise-vent pleine (figure 9.24). Une clôture à claire-voie laisserait la neige passer et se déposer du côté sous le vent de la clôture. Une clôture pleine, pourvu qu'elle soit d'une hauteur suffisante, fait en sorte que la neige se dépose du côté face au vent de la clôture. S'assure que la clôture est suffisamment haute pour que les bourrasques ne soufflent pas la neige par-dessus. La hauteur recommandée est une hauteur supérieure ou égale à 8 pi (2,4 m). La circulation de l'air sera réduite dans la zone située en aval de la clôture, mais pas autant qu'avec une clôture à claire-voie à 20 % poreuse.

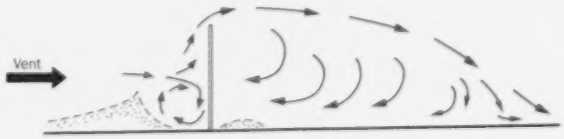


Figure 9.24 Clôture pleine servant de brise-vent et d'obstacle à la neige

On peut se servir d'un brise-vent situé tout près du bâtiment pour protéger les bâtiments à façade ouverte. La configuration normale est illustrée aux figures 9.25a et 9.25b. On installe le brise-vent du côté face au vent du bâtiment, en retrait de celui-ci et en s'éloignant du coin du bâtiment de manière à créer une chambre de tourbillonnement. Cette chambre de tourbillonnement doit être carrée. Les dimensions recommandées sont

d'au moins 10 pi x 10 pi (3 m x 3 m) et d'au plus 30 pi x 30 pi (9 m x 9 m). La hauteur de la clôture qui forme la chambre de tourbillonnement est importante; elle doit être au moins égale à la hauteur du débord de toit. Une telle hauteur permet de modifier un peu la configuration des vents qui passent par-dessus le toit et redescendent vers le bâtiment à façade ouverte.

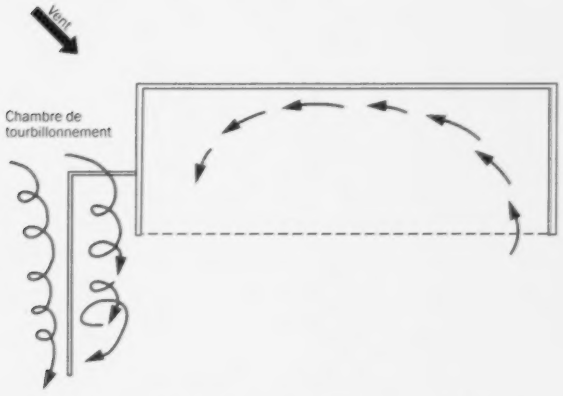


Figure 9.25a Clôture brise-vent protégeant un bâtiment à façade ouverte des vents venant de l'arrière du bâtiment

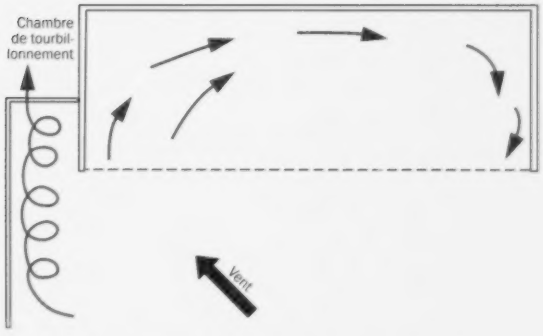


Figure 9.25b Clôture brise-vent protégeant un bâtiment à façade ouverte des vents venant de l'avant du bâtiment

9.5.1 Autres ouvertures de ventilation dans les bâtiments à façade ouverte

Pour la ventilation estivale, les ouvertures pratiquées dans chacun des murs latéraux doivent représenter au moins 25 % de la superficie des murs. Il faut aussi installer des ouvertures dans le mur arrière d'un bâtiment à façade ouverte afin d'assurer une ventilation suffisante par temps doux (figures 9.26a et 9.26b). On utilise parfois à cette fin des rideaux pare-vent ou des panneaux rabattables manuellement.

Figure 9.26a Bâtiment à façade ouverte avec ouvertures dans le mur arrière pour la ventilation estivale

Figure 9.26b Vue arrière d'un bâtiment à façade ouverte dont les rideaux sont ouverts

Doter tous les bâtiments non chauffés d'un aérateur de faîte ou de cheminées d'évacuation comme s'il s'agissait d'un bâtiment chauffé, afin de favoriser l'évacuation de l'humidité produite par les animaux et toute chaleur excédentaire.

9.6 Ventilation mixte

La ventilation mixte est un système de ventilation ayant recours à la fois à la ventilation naturelle et à la ventilation mécanique pour gérer la qualité de l'air dans le bâtiment d'élevage (figure 9.27). La ventilation mixte est souvent recommandée pour les aires de gestation ou de reproduction des porcheries, pour les porcheries d'engraissement-finition et pour les locaux abritant des dindons à l'engrais.

Figure 9.27 Porcherie d'engraissement-finition avec structure de stockage du fumier liquide sous-jacente bénéficiant d'un système de ventilation mixte

Il y a deux situations où la ventilation naturelle comporte des lacunes. Voici deux situations où la ventilation mixte est souvent utilisée dans les installations d'élevage :

- Les périodes prolongées de temps froid, qui obligent à recourir au chauffage d'appoint dans certains bâtiments. Dans ces cas, l'apport de chaleur se trouve vite dissipé ou perdu par l'effet de la poussée thermique. S'il faut chauffer des locaux d'élevage ventilés naturellement, recourir au chauffage par rayonnement afin que ce soit les animaux qui en profitent le plus.
- Les périodes de temps très chaud et humide caractérisées par l'absence de brise, qui rendent la ventilation naturelle peu efficace. Comme la poussée thermique est alors très faible, le taux de renouvellement d'air ne suffit pas à assurer un confort raisonnable aux animaux.

La ventilation mixte comporte un certain nombre d'avantages :

- Elle permet de maintenir plus facilement une température uniforme et une bonne qualité d'air au printemps, en automne et en hiver grâce à l'utilisation de ventilateurs et d'entrées d'air qui procurent une maîtrise précise des taux de renouvellement d'air.
- Les ventilateurs ne sont utilisés que pendant l'hiver et les journées froides du printemps et de l'automne. Les coûts d'électricité engendrés par le fonctionnement des appareils de ventilation sont de 60 à 80 % moins élevés que dans le cas d'un bâtiment de même superficie entièrement ventilé mécaniquement, le pourcentage variant en fonction de la durée de fonctionnement des ventilateurs dans le bâtiment soumis à la ventilation mixte.
- La ventilation ne se trouve pas interrompue par une panne d'électricité. Toutes les ouvertures conservent leur réglage au moment où la panne survient. On peut régler les panneaux ou rideaux manuellement ou en se servant de l'alimentation d'urgence, s'ils sont à commande mécanique.
- La lumière du jour pénètre dans le bâtiment, ce qui représente un avantage pour les travailleurs. Pour les animaux qui ont besoin de la lumière du jour pour un gain de poids ou une performance de reproduction optimale, une bonne partie de la lumière qu'il leur faut leur est procurée naturellement par la lumière du jour.
- Les niveaux sonores sont réduits chaque fois qu'on a recours à la ventilation naturelle. Il s'ensuit un abaissement des niveaux de stress pour les animaux et les travailleurs. Les travailleurs entendent plus facilement ce qu'on leur dit et sont plus à même de percevoir d'éventuels sons inhabituels produits par les animaux, ce qui rend les conditions de travail plus sécuritaire.
- En été, les taux de renouvellement d'air peuvent être passablement élevés. L'été, grâce à la brise, les taux de renouvellement d'air dans les bâtiments ventilés naturellement équivalent au double des taux normalement observés dans les bâtiments ventilés mécaniquement.
- On peut remettre les ventilateurs en marche si le temps est très chaud, humide et stagnant, afin d'accroître la circulation et assurer un confort minimal aux animaux.

La ventilation mixte comporte aussi ses inconvénients :

- Il y a la difficulté à maîtriser l'entrée des oiseaux sauvages. Il faut poser des grillages et bien les entretenir pour empêcher les oiseaux d'entrer. Il est souvent impossible de poser des grillages adéquats sur les ouvertures de porte.
- Il y a l'eau qui dégoutte sous les cheminées qui contiennent des ventilateurs d'extraction. Éviter de loger des animaux immédiatement sous les ouvertures des cheminées pour éviter qu'ils ne soient soumis aux infiltrations de pluie et/ou à l'eau qui dégoutte.
- Quand ils fonctionnent, les ventilateurs sont bruyants. En plus d'être une source de stress, ce bruit empêche les travailleurs d'entendre ce qu'on leur dit et de percevoir d'éventuels sons inhabituels produits par les animaux.

9.6.1 Volet ventilation mécanique de la ventilation mixte

Dans un système mixte, la ventilation assurée par les ventilateurs pour répondre aux besoins de ventilation en automne, en hiver et au printemps représente entre 25 et 50 % de la ventilation totale recommandée pendant la période estivale. Avant de passer de la ventilation mécanique à la ventilation naturelle, on attend que la température extérieure se maintienne de façon constante au-dessus de 10 °C. C'est là le principal critère à observer. Cette stratégie fait en sorte d'éviter les problèmes posés par la ventilation naturelle quand les températures changent rapidement et quand l'articulation des panneaux des prises d'air est compromise par le givre.

Dimensionnement des ventilateurs et paliers de ventilation

On dimensionne les ventilateurs et on établit les paliers de ventilation de la même façon que pour un bâtiment ventilé mécaniquement. La seule différence est le nombre de paliers nécessaires pour obtenir les débits souhaités avant de passer à la circulation naturelle. Utiliser au moins deux paliers de ventilation; il n'est pas rare qu'on utilise trois ou quatre paliers. Voir le *chapitre 4 – Ventilateurs* pour plus d'information.

Emplacement des ventilateurs

Comme dans tout local ventilé mécaniquement, les règles concernant l'emplacement des ventilateurs sont très souples. Si les ventilateurs sont situés le long des murs extérieurs, on les place entre les sections de panneaux ou de rideaux assurant la ventilation naturelle. Pour éviter toute interférence avec les ouvertures dans les murs latéraux, on place les ventilateurs sous le plancher, de manière à extraire l'air depuis les caniveaux. De la même façon, on peut opter pour des ventilateurs d'extraction situés dans des cheminées qui évacuent l'air dans le vide sous-toit et par le toit (figure 9.28). Au delà de la ventilation minimale, à tous les paliers de ventilation prévus pour les ventilateurs de cheminée, un clapet empêche le conduit de cheminée de se comporter en entrée d'air indésirable.

Figure 9.28 Ventilation mixte dans un élevage de dindons à l'engrais

Entrées d'air alimentant les ventilateurs

On opte entre autres pour la ventilation mixte afin de pouvoir laisser les panneaux de ventilation naturelle des murs latéraux fermés par temps froid et afin que d'alimenter le bâtiment en air frais par les ventilateurs situés au plafond qui soufflent l'air provenant du vide sous-toit.

On conçoit et positionne ces entrées d'air de la même manière que pour toute autre entrée d'air. Le critère de conception le plus important à observer est l'établissement d'un bon schéma de circulation de l'air dans l'ensemble du local. Voir le *chapitre 3 – Entrées d'air* pour plus d'information.

9.6.2 Volet ventilation naturelle de la ventilation mixte

On dimensionne les éléments assurant la ventilation naturelle dans un bâtiment bénéficiant d'un système de ventilation mixte en fonction de la ventilation maximale nécessaire par temps chaud. C'est l'efficacité de la ventilation mécanique qui détermine à quel moment passer à la ventilation naturelle. Idéalement, on attend avant d'ouvrir les panneaux ou rideaux assurant une ventilation naturelle que la température extérieure ait atteint 10 °C ou plus. Ainsi, on évite de manœuvrer les panneaux ou rideaux quand les températures changent brusquement et quand le givre risque de les bloquer.

On dimensionne les ouvertures qui seront protégées par des rideaux pare-vent de manière à garantir que de chaque côté, les ouvertures représenteront une superficie d'ouverture totale utilisable égale à 5 % de la surface de plancher, cette superficie constituant un critère à respecter pour tous les systèmes de ventilation naturelle. Dans un système de ventilation mixte, la seule différence par rapport à un système où la ventilation est entièrement naturelle est le fait qu'aucune cheminée n'est installée, sauf si celles-ci sont dotées de ventilateurs d'extraction prenant le relais par temps froid.

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ventilateurs

1a.	Nombre d'animaux logés et poids minimal	animaux	lb
1b.	Nombre d'animaux logés et poids maximal	animaux	lb
2a.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids minimal selon l'*annexe B*	pi³/min/animal	
2b.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	pi³/min/animal	
3.	Taux de renouvellement d'air requis par temps doux pour les animaux de poids maximal selon l'*annexe B*	pi³/min/animal	
4a.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids minimal : _____ animaux x _____ pi³/min/animal	pi³/min	
4b.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids maximal : _____ animaux x _____ pi³/min/animal	pi³/min	
4c.	Débit minimal pour 4 renouvellements d'air par heure : ____ de longueur x ____ de largeur x ____ de hauteur x 4 renouv./60 min (dimensions intérieures du bâtiment)	pi³/min	
4d.	Débit minimal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	pi³/min	
5a.	Débit maximal par temps doux pour le nombre d'animaux de poids maximal : _____ animaux x _____ pi³/min/animal	pi³/min	
5b.	Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute : _____ de longueur x _____ de largeur x _____ de hauteur	pi³/min	
5c.	Débit maximal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	pi³/min	
6a.	Capacité minimale des ventilateurs par temps doux correspondant à 25 % des exigences de ventilation estivale : _____ pi³/min (5a,b,c) x 0,25	pi³/min	
6b.	Capacité maximale des ventilateurs par temps doux correspondant à 50 % des exigences de ventilation estivale : _____ pi³/min (5a,b,c) x 0,50	pi³/min	
	Choix des paliers de ventilation	**Capacité calculée (pi³/min)**	**Capacité choisie (pi³/min)**
7a.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids minimal, de _____ pi³/min (ligne 4a) x 3		
7b.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux au poids maximal, de _____ pi³/min (ligne 4b) x 2		

8a.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à basse vitesse : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou 7b)		
8b.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à haute vitesse : capacité maximale du palier 1 x 2		
8c.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à une seule vitesse basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou 7b)		
9.	Sous-total des paliers 1 et 2 : (7a ou 7b) + (8b ou 8c)		
10.	Comparaison de la capacité totale réelle (9) à (6a) et (6b) : • si elle est supérieure à (6a), passer immédiatement à la ventilation naturelle ou ajouter un palier de ventilation mécanique de plus pour obtenir une valeur plus proche de (6b) • si elle est supérieure à (6b), passer à la ventilation naturelle pour une ventilation accrue		
11.	Choix d'un ventilateur de palier 3 basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ sous-total des paliers 1 et 2 (ligne 9)		
12.	Sous-total des paliers 1, 2 et 3 : (9) + (11)		
13.	Comparaison de la capacité totale réelle (12) à (6a) et (6b) : • si elle est supérieure à (6a), passer immédiatement à la ventilation naturelle ou ajouter un palier de ventilation mécanique de plus pour obtenir une valeur plus proche de (6b) • si elle est supérieure à (6b), passer à la ventilation naturelle pour une ventilation accrue		
14.	Choix d'un ventilateur de palier 4 basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ sous-total des paliers 1, 2 et 3 (ligne 12)		
15.	Sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 : (12) + (14)		

Feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Prises d'air pour les ventilateurs

16.	Superficie minimale des prises d'air à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min : _____ pi^3/min (9, 12, 15) x 2 pi^2/1 000 pi^3/min	pi^2
17.	Longueur minimale des prises d'air donnant sur le local ou le vide sous-toit (d'après les plans du bâtiment) : _____ pi	pi
18.	Largeur minimale de l'ouverture des prises d'air : _____ pi^2 ÷ _____ pi = (_____ pi x 12 po/pi) + 1 po pour le grillage	po
19.	Vitesse maximale d'admission de l'air par temps doux : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	pi/min
20.	Superficie minimale des entrées d'air dans la pièce : _____ pi^3/min ÷ _____ pi/min	pi^2
21a.	Nombre d'entrées d'air modulaires requises, selon la capacité de chacune : _____ pi^3/min ÷ _____ pi^3/min de capacité nominale indiquée par le fabricant	Nombre d'entrées d'air
21b.	Nombre d'entrées d'air modulaires requises en comptant une entrée par longueur de 10 pi : _____ pi de longueur de la pièce ÷ 10 pi	Nombre d'entrées d'air
21c.	Choix du nombre d'entrées d'air modulaires à installer au plafond (22a ou 22b)	Nombre d'entrées d'air
22.	Longueur totale des entrées d'air, calculée selon le nombre d'entrées modulaires ou la longueur des fentes d'aération : _____ unités modulaires x _____ po ÷ 12 po/pi OU _____ pi de fentes	pi
23.	Ouverture maximale des entrées d'air : _____ pi^2 de superficie des entrées d'air ÷ _____ pi de longueur des entrées x 12 po/pi	po
24.	Vitesse minimale d'admission de l'air par temps froid : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	pi/min
25.	Superficie minimale des entrées d'air : _____ (4a) pi^3/min ÷ _____ pi/min	pi^2
26.	Largeur d'ouverture minimale des entrées d'air : _____ pi^2 de superficie des entrées d'air ÷ _____ pi de longueur des entrées x 12 po/pi	po

Feuille de calcul servant au dimensionnement d'un système de ventilation mixte – Ouvertures dans les murs latéraux

27.	Surface de plancher : _____ pi de largeur x _____ pi de longueur	pi^2
28.	5 % de la surface de plancher : _____ pi^2 x 5/100	pi^2
29.	Longueur d'ouverture nette disponible sur chaque mur latéral (selon plan du bâtiment)	pi
30a.	Hauteur libre minimale de l'ouverture : _____ (28) pi^2/ _____ (29) pi	pi
30b.	Hauteur recommandée de l'ouverture pour permettre le fonctionnement du rideau en tenant compte des accessoires nécessaires à son fonctionnement : (30a) + pi de dégagement nécessaire	pi

9.6.3 Exemple de dimensionnement d'un système de ventilation mixte pour une porcherie d'engraissement-finition de 1 000 porcs

Utiliser la feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte pour calculer les exigences de ventilation d'une porcherie d'engraissement-finition à ventilation mixte de 1 000 porcs avec planchers à claire-voie et structure de stockage à long terme du fumier sous le bâtiment. Le bâtiment mesure 50 pi x 200 pi (15,2 m x 60,1 m), le plafond est haut de 8 pi (2,4 m) et la structure de stockage sous-jacente a 8 pi (2,4 m) de profondeur.

Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ventilateurs

1a.	Nombre d'animaux logés et poids minimal	1 000 animaux	55 lb
1b.	Nombre d'animaux logés et poids maximal	1 000 animaux	250 lb
2a.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids minimal selon l'*annexe B*	4 pi^3/min/animal	
2b.	Taux de renouvellement d'air requis par temps froid par animal de poids maximal selon l'*annexe B*	8 pi^3/min/animal	
3.	Taux de renouvellement d'air requis par temps doux pour les animaux de poids maximal selon l'*annexe B*	90 pi^3/min/animal	
4a.	Taux de renouvellement d'air minimal requis pour les animaux de poids minimal : **1 000** animaux x **4** pi^3/min/animal	4 000 pi^3/min	
4b.	Taux de renouvellement d'air minimal pour les animaux de poids maximal : **1 000** animaux x **8** pi^3/min/animal	8 000 pi^3/min	
4c.	Débit minimal pour 4 renouvellements d'air par heure : **199** pi x **49** pi x **8** pi x 4 renouv./60 min (dimensions intérieures du bâtiment)	5 200 pi^3/min	
4d.	Débit minimal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.	
5a.	Débit maximal par temps doux pour le nombre d'animaux de poids maximal : **1 000** animaux x **90** pi^3/min/animal	90 000 pi^3/min	
5b.	Débit maximal par temps doux basé sur 1 renouvellement d'air par minute : = **200** pi x **50** pi x **8** pi/1 min	80 000 pi^3/min	
5c.	Débit maximal basé sur d'autres critères de conception précisés par le concepteur	s.o.	
6a.	Capacité minimale des ventilateurs par temps doux correspondant à 25 % des exigences de ventilation estivale : **90 000** pi^3/min (5a,b,c) x 0,25	22 500 pi^3/min	
6b.	Capacité maximale des ventilateurs par temps doux correspondant à 50 % des exigences de ventilation estivale : **90 000** pi^3/min (5a,b,c) x 0,50	45 000 pi^3/min	
	Choix des paliers de ventilation	**Capacité calculée (pi^3/min)**	**Capacité choisie (pi^3/min)**
7a.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids minimal, de **4 000** pi^3/min (4a) x 3	12 000	-
7b.	Choix d'un ventilateur de palier 1 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale de palier 1 calculée comme suit : Taux de renouvellement d'air minimal par temps froid pour les animaux de poids maximal, de **8 000** pi^3/min (4b) x 2	16 000	4 x 4 000 = 16 000

8a.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à basse vitesse : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou **7b**)	≤ 16 000	4 x 1 000 = 4 000
8b.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à vitesse variable basé sur une capacité de ventilation maximale à haute vitesse : capacité maximale du palier 1 x 2	≤ 32 000	4 x 4 000 = 16 000
8c.	Choix d'un ventilateur de palier 2 à une seule vitesse basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ capacité maximale du palier 1 (7a ou **7b**)	≤ 16 000	s.o.
9.	Sous-total des paliers 1 et 2 : **16 000** (7a ou **7b**) + **16 000** (8b ou **8c**)		32 000
10.	Comparaison de la capacité totale réelle (9) à (6a) et (6b) : • si elle est supérieure à (6a), passer immédiatement à la ventilation naturelle ou ajouter un palier de ventilation mécanique de plus pour obtenir une valeur plus proche de (6b) • si elle est supérieure à (6b), passer à la ventilation naturelle pour une ventilation accrue		> 22 500 < 45 000
11.	Choix d'un ventilateur de palier 3 basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ sous-total des paliers 1 et 2 (ligne 9)		2 x 6 000 = 12 000
12.	Sous-total des paliers 1, 2 et 3 : **32 000** (9) + **12 000** (11)		44 000
13.	Comparaison de la capacité totale réelle (12) à (6a) et (6b) : • si elle est supérieure à (6a), passer immédiatement à la ventilation naturelle ou ajouter un palier de ventilation mécanique de plus pour obtenir une valeur plus proche de (6b) • si elle est supérieure à (6b), passer à la ventilation naturelle pour une ventilation accrue		> 22 500 > 45 000
14.	Choix d'un ventilateur de palier 4 basé sur une capacité de ventilation maximale : ≤ sous-total des paliers 1, 2 et 3 (ligne 12)		s.o.
15.	Sous-total des paliers 1, 2, 3 et 4 : (12) + (14)		s.o.

Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des système de ventilation mixte – Prises d'air pour les ventilateurs

16.	Superficie minimale des prises d'air à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min : **44 000** pi^3/min (9, 12, 15) x 2 pi^2/1 000 pi^3/min	88 pi^2
17.	Longueur minimale des prises d'air donnant sur le local ou le vide sous-toit (d'après les plans du bâtiment) : **360** pi	360 pi
18.	Largeur minimale de l'ouverture des prises d'air : **88** pi^2 ÷ **360** pi = (**0,24** pi x 12 po/pi) + 1 po pour le grillage	3,9 po choisir 4,0 po
19.	Vitesse maximale d'admission de l'air par temps doux : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	1 000 pi/min
20.	Superficie minimale des entrées d'air dans la pièce : **44 000** pi^3/min ÷ 1 000 pi/min	44 pi^2
21a.	Nombre d'entrées d'air modulaires requises, selon la capacité de chacune : **44 000** pi^3/min ÷ **1 200** pi^3/min de capacité nominale indiquée par le fabricant	37 entrées d'air 1 côté
21b.	Nombre d'entrées d'air modulaires requises en comptant une entrée par longueur de 10 pi : **200** pi de longueur de la pièce ÷ 10 pi	20 entrées d'air par rangée
21c.	Choix du nombre d'entrées d'air modulaires à installer au plafond (ligne 22a ou 22b)	2 rangées x 20 = 40 entrées d'air
22.	Longueur totale des entrées d'air, calculée selon le nombre d'entrées modulaires ou la longueur des fentes d'aération : **40** unités modulaires x **27** po ÷ 12 po/pi OU _____ pi de fentes	90 pi
23.	Ouverture maximale des entrées d'air : **44** pi^2 de superficie des entrées d'air ÷ **90** pi de longueur des entrées x 12 po/pi	5,9 po
24.	Vitesse minimale d'admission de l'air par temps froid : de 500 à 1 000 pi/min selon la largeur de la pièce et la fragilité des animaux	1 000 pi/min
25.	Superficie minimale des entrées d'air : **4 000** (ligne 4a) pi^3/min ÷ 1 00 pi/min	4 pi^2
26.	Largeur d'ouverture minimale des entrées d'air : **4** pi^2 de superficie des entrées d'air ÷ **90** pi de longueur des entrées x 12 po/pi	0,5 po

Exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte – Ouvertures dans les murs latéraux

27.	Surface de plancher : **50** pi x **200** pi	10 000 pi²
28.	5 % de la surface de plancher : **10 000** pi² x 5/100	500 pi²
29.	Longueur d'ouverture nette disponible sur chaque mur latéral (selon plan du bâtiment) : **200** pi - **20** pi	180 pi
30a.	Hauteur libre minimale de l'ouverture : **500** pi² ÷ **180** pi	2,8 pi
30b.	Hauteur recommandée de l'ouverture pour permettre le fonctionnement du rideau en tenant compte des accessoires nécessaires à son fonctionnement : (ligne 30a) + pi de dégagement nécessaire	3,5 pi

Notes explicatives de l'exemple de feuille de calcul servant au dimensionnement des systèmes de ventilation mixte

Ventilateurs

1. La porcherie contient 1 000 porcs qui pèsent environ 55 lb (25 kg) chacun et qui sont amenés à un poids de marché de 250 lb (115 kg) sur une période de 100 jours.

2. Le taux de renouvellement d'air minimal requis pour des porcs d'engraissement-finition varie de 4 à 8 pi³/min/porc selon leur stade de croissance *(annexe B)*.

3. Le taux de renouvellement d'air maximal par porc de marché est de 90 pi³/min/porc *(annexe B)*.

4. Le taux de renouvellement d'air minimal pour ce local varie entre 4 000 et 8 000 pi³/min selon le poids des porcs. Pour une meilleure qualité d'air, maintenir un taux de renouvellement d'air minimal équivalant à 4 renouvellements d'air par heure, ce qui correspond pour cette porcherie à environ 5 200 pi³/min (ce taux ne tient pas compte de l'espace variable situé sous les lattes).

   Il arrive que le concepteur impose des taux de renouvellement d'air différents pour tenir compte de circonstances ou de situations particulières. Il peut, par exemple, exiger un taux de renouvellement d'air minimal accru pour surmonter un problème de pH élevé de l'eau. Cette ligne de la feuille de calcul est rarement utilisée.

5. Le calcul du débit maximal dans ce local tient compte de plusieurs critères différents. Sur la base de 1 000 porcs presque tous parvenus au poids de marché, le débit maximal est de 90 000 pi³/min. Un débit de 80 000 pi³/min procure un renouvellement d'air par minute au-dessus du plancher à claire-voie. Majorer ce débit pour tenir compte du stockage du fumier sous le plancher. Une ligne est prévue à cette fin sur la feuille de calcul.

6. Dans le cas de la ventilation mixte, la capacité des ventilateurs utilisés pour assurer la ventilation entre la fin de l'automne et le début du printemps, procure l'équivalent de 25-50 % du taux de renouvellement d'air maximal exigé en été. Pour cette porcherie, la capacité des ventilateurs se situe dans la fourchette suivante : 22 500-45 000 pi³/min.

7. Au palier 1 (et souvent au palier 2), la ventilation est assurée par des ventilateurs à vitesse variable de sorte que la vitesse peut être réglée en fonction de la croissance des animaux et des variations des conditions météorologiques. La capacité de ventilation totale des ventilateurs à vitesse variable de palier 1 correspond à une fourchette de 12 000-16 000 pi³/min, cette capacité étant calculée en fonction des taux de renouvellement d'air minimaux requis par temps froid, selon le poids des animaux (lignes 7a et 7b). Cette capacité totale est divisée par le nombre de ventilateurs. Étant donné qu'on trouve une structure de stockage du fumier directement sous le plancher à claire-voie, ces ventilateurs extraient l'air de la pièce par le plancher à claire-voie et la fosse. Quatre ventilateurs à vitesse variable d'une capacité minimale de 1 000 pi³/min chacun, ce qui représente une capacité totale de 4 000 pi³/min, conviennent pour répondre aux exigences de ventilation du palier 1.

8. Un principe de conception de base à respecter relativement aux débits est de veiller à ce que l'augmentation du débit procurée par un nouveau palier ne représente jamais plus du double du débit du palier précédent. Par conséquent, le débit de ventilation du palier 2 ne doit pas dépasser 16 000 pi^3/min. Il peut être inférieur à ce débit et l'est effectivement si l'on utilise des ventilateurs à vitesse variable. Si l'on choisit quatre autres ventilateurs à vitesse variable semblables aux ventilateurs de palier 1 et que ces autres ventilateurs procurent un débit de 1 000 à 4 000 pi^3/min chacun, alors le débit de ventilation minimal au palier 2 totalisera 20 000 pi^3/min, soit 16 000 pi^3/min (palier 1) + 4 000 pi^3/min (palier 2). On peut aussi faire d'autres choix de ventilateurs (p. ex. 3 ventilateurs x 1 500-5 000 pi^3/min chacun). On installe ces ventilateurs dans la fosse.

9. Une fois que les ventilateurs de palier 2 fonctionnent à pleine vitesse, leur capacité de ventilation maximale est de 32 000 pi^3/min.

10. Si on compare la capacité de 32 000 pi^3/min aux capacités minimales et maximales de 22 500 et 45 000 pi^3/min respectivement, il apparaît que les deux premiers paliers de ventilation se situent à l'intérieur de la fourchette acceptable qui permet de passer à la ventilation naturelle. Toutefois, les porcs étant considérés comme des animaux sensibles, l'ajout d'un palier de ventilation retarde le passage à la ventilation naturelle, ce qui diminue les risques de voir se créer des courants d'air.

11. La capacité de ventilation du palier 3 pourrait aller jusqu'à 32 000 pi^3/min, ce qui n'est pas nécessaire. L'ajout de deux ventilateurs d'extraction supplémentaires, d'une capacité de 6 000 pi^3/min chacun suffit.

12. La nouvelle capacité de ventilation s'établit donc maintenant à 44 000 pi^3/min.

13. Si on compare cette capacité de 44 000 pi^3/min aux capacités minimales et maximales de 22 500 et 45 000 pi^3/min, on voit que le débit est très proche du débit maximal recommandé pour la ventilation mécanique, de sorte que toute ventilation supplémentaire sera assurée par la ventilation naturelle.

14. Aucun ventilateur de palier 4 n'est donc nécessaire.

15. La ventilation mécanique ne peut procurer de débit supplémentaire dans ce bâtiment en particulier.

Prises d'air pour les ventilateurs

16. On apporte de l'air frais dans le vide sous-toit pour alimenter les prises d'air situées au plafond qui alimentent les ventilateurs du système de ventilation mixte. On calcule la superficie minimale de ces prises d'air à raison de 2 pi^2/1 000 pi^3/min de capacité de ventilation, ce qui, pour ce bâtiment, donne 88 pi^2.

17. Étant donné que toute la superficie des soffites des deux côtés du bâtiment sont disponibles pour les prises d'air, celles-ci s'étendent au total sur 360 pieds linéaires (180 pi/côté).

18. À partir de cette longueur, on calcule la largeur requise, qui est de 2,9 po. À cette largeur, il faut ajouter 1 po pour compenser l'espace occupé par le grillage qu'on installe pour empêcher oiseaux et rongeurs d'entrer et éviter que celui-ci ne restreigne trop le passage de l'air. La largeur d'ouverture recommandée le long de chacun des soffites est de 4 po.

19. Deux rangées d'entrées d'air soufflant l'air d'un seul côté sont installées au plafond, la distance des jets d'air requise est de 20 pi et l'on choisit une vitesse d'admission de l'air de 1 000 pi/min.

20. La superficie minimale des entrées d'air est calculée de manière à s'assurer que tout l'air sera admis à une vitesse de 1 000 pi/min. Pour ce bâtiment, la superficie totale requise pour les entrées d'air est de 44 pi^2.

21. Selon la capacité nominale indiquée par le fabricant, 37 entrées d'air modulaires de plafond sont requises pour procurer 44 000 pi^3 d'air/min. Un autre critère est d'installer une entrée d'air par longueur de 10 pi de manière à obtenir une distribution uniforme de l'air dans tout le bâtiment. Suivant ce critère, il faut 20 entrées d'air dans chaque rangée, c.-à-d. 2 rangées de 20 entrées d'air, ce qui donne 40 entrées d'air.

22. Chaque entrée d'air choisie pour ce projet comporte une ouverture longue de 27 po (selon le guide du fabricant), de sorte que la longueur totale des entrées d'air atteint 90 pi. Dans certains cas, on installe des panneaux rabattables continus, auquel cas il faut en inscrire la longueur totale.

23. On détermine l'ouverture maximale des entrées d'air en divisant la superficie des entrées d'air (ligne 20) par la longueur des entrées d'air installées (ligne 22). En multipliant le quotient par 12, on obtient la largeur en po, c.-à-d. 5,9 po. Le calcul donne une ouverture de moins de 8 po, ce qui empêche l'air de tomber directement sur les porcs. Si le calcul devait donner une largeur supérieure à 8 po, il faudrait installer davantage d'entrées d'air ou réduire la capacité totale des ventilateurs.

24. On choisit une vitesse d'admission d'air par temps froid proche de 1 000 pi/min afin de garantir que le jet d'air entre assez rapidement pour poursuivre sa course le long du plafond sur une bonne distance, ce qui permet à l'air de bien se mélanger avec l'air à la température ambiante.

25. La superficie minimale des entrées d'air requises est calculée en divisant le taux de renouvellement d'air minimal (ligne 4a) par la vitesse d'admission d'air souhaitée (ligne 24), ce qui donne 4 pi^2.

26. On calcule la largeur d'ouverture minimale des entrées d'air en divisant la superficie minimale des entrées d'air requises (ligne 25) par la longueur totale des entrées d'air (ligne 22). En multipliant le quotient par 12 pour l'exprimer en pouces, on obtient 0,5 po. Cette valeur est facile à obtenir avec un actionneur à câbles relié à un régulateur de température automatique. Si cette valeur était inférieure à 0,1 po, la précision dans la maîtrise des températures serait difficile à atteindre. Le concepteur pourrait envisager d'autres possibilités comme réduire la longueur totale des entrées d'air ou ajouter un système de circulation d'air intérieur.

Ouvertures dans les murs latéraux pour la ventilation naturelle

27. Le critère applicable au dimensionnement des ouvertures est d'offrir de chaque côté du bâtiment une ouverture correspondant à 5 % de la surface de plancher, soit le produit de la longueur par la largeur du bâtiment.

28. La superficie de l'ouverture pratiquée de chaque côté du bâtiment est égale à 5 % de la surface de plancher, ce qui donne 500 pi^2 dans ce cas-ci.

29. En étudiant le plan du bâtiment, on voit que la longueur d'ouverture nette disponible sur chaque mur latéral est de 90 pi (27 m), soit la longueur nette de 180 pi (55 m) divisée par deux.

30. La hauteur libre minimale des fentes d'aération est déterminée en divisant la superficie totale des entrées d'air (ligne 28) par la longueur de mur disponible (ligne 29), ce qui donne 2,8 pi (0,8 m). Si l'on tient compte de l'espace occupé par le rideau et par les accessoires qui sont installés pour le manœuvrer, il faut allouer une hauteur supplémentaire pour éviter que la circulation de l'air ne soit entravée. Une hauteur supplémentaire d'au moins 0,5 pi (0,15 m) compense pour les éléments qui pourraient obstruer l'ouverture. Dans le cas de cette porcherie, même si une hauteur d'ouverture de 3,5 pi (1,1 m) est recommandée, une hauteur de 4 pi (1,2 m) ne serait pas excessive.

Remarque : Les calculs relatifs au dimensionnement d'un système de ventilation mixte pour la porcherie présentée dans l'exemple reposent sur les hypothèses suivantes :

Ventilateurs :

Palier 1 : 4 ventilateurs à vitesse variable d'une capacité de 1 000-4 000 pi^3/min chacun (fosse)

Palier 2 : 4 ventilateurs à vitesse variable d'une capacité de 1 000-4 000 pi^3/min chacun (fosse)

Palier 3 : 2 ventilateurs à une seule vitesse d'une capacité de 6 000 pi^3/min chacun (murs)

Nombre total de ventilateurs = 10

Entrées d'air au plafond pour les ventilateurs :

2 rangées de 20 entrées d'air dirigeant le jet d'air d'un seul côté, soit 40 entrées d'air au total dont l'ouverture varie de 0,5-5,9 po (12,7-150 mm)

Ouvertures dans les murs latéraux pour la ventilation naturelle :

au moins 3,5 pi x 180 pi (1,1 m x 55 m) le long de chaque côté du bâtiment, avec rideaux ou panneaux rigides commandés par un système de commande à câbles.

9.6.4 Commandes pour la ventilation mixte

Il est possible de faire fonctionner un système de ventilation mixte avec deux séries de commandes et de laisser le soin à l'exploitant d'assurer la transition entre les deux systèmes. Un certain nombre de fournisseurs offrent des régulateurs électroniques conçus spécifiquement pour faire fonctionner des systèmes de ventilation mixte. Il est recommandé d'utiliser ces régulateurs plus perfectionnés (figure 9.29) pour relier les deux systèmes de ventilation afin que la transition entre les deux se fasse automatiquement chaque fois qu'il le faut, sans intervention de l'exploitant.

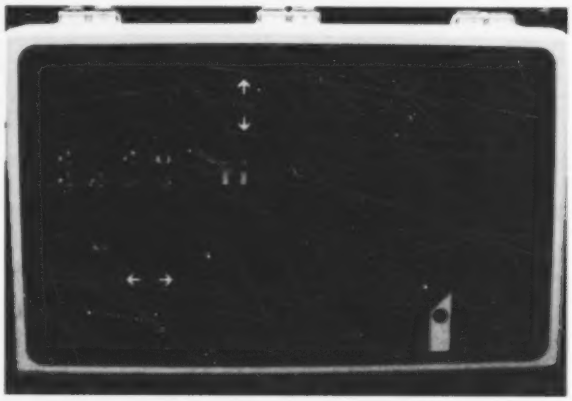


Figure 9.29 Régulateur électronique conçu spécifiquement pour la ventilation mixte

Comme pour tous les régulateurs, ces appareils sont commandés par la température; un accroissement de la température ambiante déclenche automatiquement les paliers de ventilation successifs, puis, en remplacement de ventilateurs supplémentaires, commandent l'ouverture progressive des panneaux de ventilation naturelle dans les murs latéraux. Le régulateur règle l'ouverture des entrées d'air au plafond en fonction du palier de ventilation qui a été activé. Une fois que les rideaux commencent à s'ouvrir, le régulateur commande la fermeture automatique des ventilateurs d'extraction et la fermeture des entrées d'air au plafond. La plupart de ces régulateurs commandent aussi un système de refroidissement à l'eau dont le fonctionnement repose à la fois sur la température et une durée de fonctionnement.

Quand la température ambiante baisse, les panneaux ou rideaux réglant la ventilation naturelle commencent à se fermer à une température précise tout juste supérieure à la température de réglage des ventilateurs de palier 3. Ils continuent à se refermer à un rythme programmé par minuterie si la température ambiante reste inférieure à la température de fermeture précisée. Une fois que le rideau est presque fermé, les ventilateurs d'extraction se remettent en marche aux paliers indiqués en fonction des températures de réglage programmées. Si la température de la pièce tombe sous le point de consigne, un système de chauffage d'appoint réglé à une température précise se met en marche. La figure 9.30 illustre cette stratégie de régulation de la ventilation applicable à un local d'engraissement-finition d'une grosse porcherie; le graphique ressemble à ceux qu'on trouve au *chapitre 4 – Ventilateurs*.

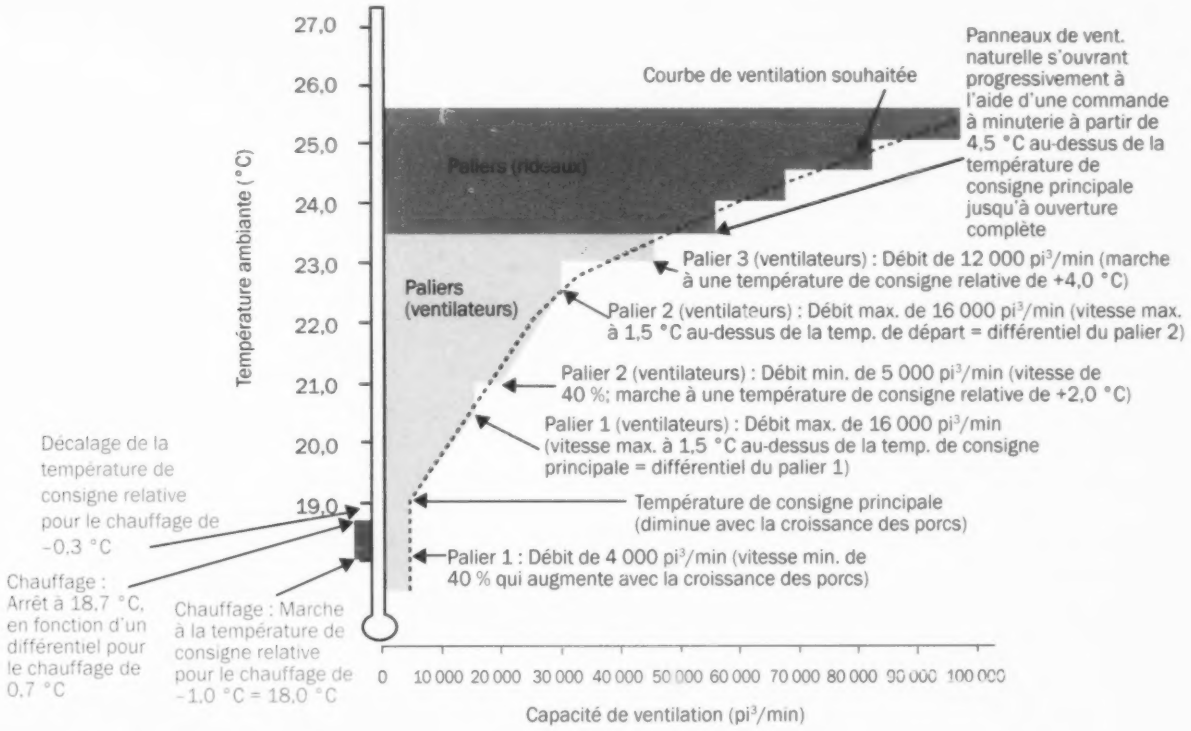


Figure 9.30 Stratégie de régulation de la ventilation applicable à un système de ventilation mixte dans le local d'engraissement-finition d'une porcherie de 1 000 porcs

Remarque : Les calculs relatifs au dimensionnement d'un système de ventilation mixte pour la porcherie présentée dans l'exemple reposent sur les hypothèses suivantes :

Ventilateurs :

Palier 1 : 4 ventilateurs à vitesse variable d'une capacité de 1 000-4 000 pi³/min chacun (fosse)

Palier 2 : 4 ventilateurs à vitesse variable d'une capacité de 1 000-4 000 pi³/min chacun (fosse)

Palier 3 : 2 ventilateurs à une seule vitesse d'une capacité de 6 000 pi³/min chacun (murs)

Nombre total de ventilateurs = 10

Entrées d'air au plafond pour les ventilateurs :
2 rangées de 20 entrées d'air dirigeant le jet d'air d'un seul côté, soit 40 entrées d'air au total dont l'ouverture varie de 0,5-5,9 po (12,7-150 mm)

Ouvertures dans les murs latéraux pour la ventilation naturelle :
au moins 3,5 pi x 180 pi (1,1 m x 55 m) le long de chaque côté du bâtiment, avec rideaux ou panneaux rigides commandés par un système de commande à câbles.

9.6.4 Commandes pour la ventilation mixte

Il est possible de faire fonctionner un système de ventilation mixte avec deux séries de commandes et de laisser le soin à l'exploitant d'assurer la transition entre les deux systèmes. Un certain nombre de fournisseurs offrent des régulateurs électroniques conçus spécifiquement pour faire fonctionner des systèmes de ventilation mixte. Il est recommandé d'utiliser ces régulateurs plus perfectionnés (figure 9.29) pour relier les deux systèmes de ventilation afin que la transition entre les deux se fasse automatiquement chaque fois qu'il le faut, sans intervention de l'exploitant.

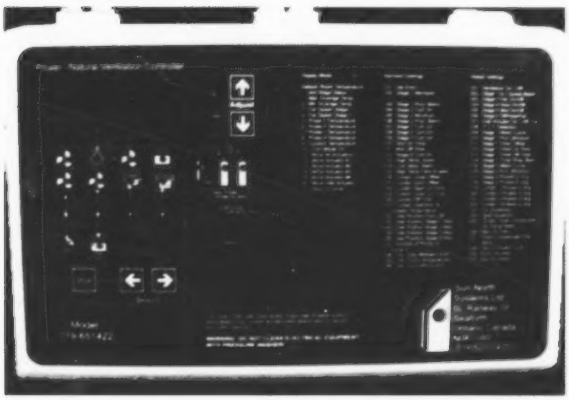


Figure 9.29 Régulateur électronique conçu spécifiquement pour la ventilation mixte

Comme pour tous les régulateurs, ces appareils sont commandés par la température; un accroissement de la température ambiante déclenche automatiquement les paliers de ventilation successifs, puis, en remplacement de ventilateurs supplémentaires, commandent l'ouverture progressive des panneaux de ventilation naturelle dans les murs latéraux. Le régulateur règle l'ouverture des entrées d'air au plafond en fonction du palier de ventilation qui a été activé. Une fois que les rideaux commencent à s'ouvrir, le régulateur commande la fermeture automatique des ventilateurs d'extraction et la fermeture des entrées d'air au plafond. La plupart de ces régulateurs commandent aussi un système de refroidissement à l'eau dont le fonctionnement repose à la fois sur la température et une durée de fonctionnement.

Quand la température ambiante baisse, les panneaux ou rideaux réglant la ventilation naturelle commencent à se fermer à une température précise tout juste supérieure à la température de réglage des ventilateurs de palier 3. Ils continuent à se refermer à un rythme programmé par minuterie si la température ambiante reste inférieure à la température de fermeture précisée. Une fois que le rideau est presque fermé, les ventilateurs d'extraction se remettent en marche aux paliers indiqués en fonction des températures de réglage programmées. Si la température de la pièce tombe sous le point de consigne, un système de chauffage d'appoint réglé à une température précise se met en marche. La figure 9.30 illustre cette stratégie de régulation de la ventilation applicable à un local d'engraissement-finition d'une grosse porcherie; le graphique ressemble à ceux qu'on trouve au *chapitre 4 — Ventilateurs*.

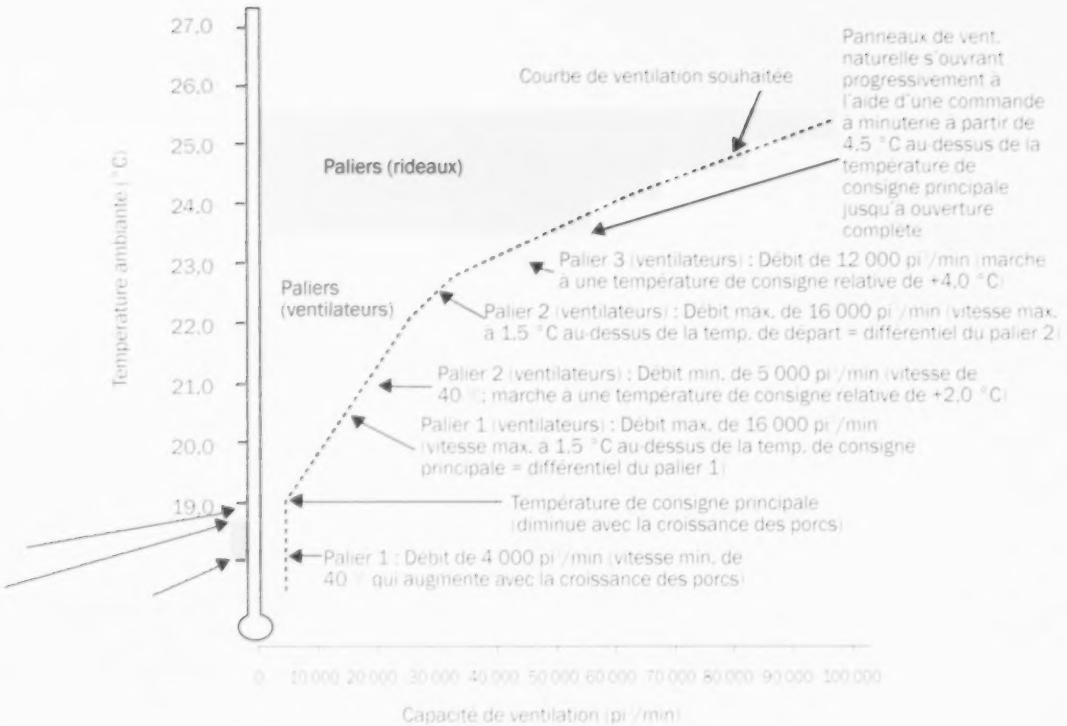


Figure 9.30 Stratégie de régulation de la ventilation applicable à un système de ventilation mixte dans le local d'engraissement-finition d'une porcherie de 1 000 porcs

Table des matières

10. Conservation de l'énergie 225

10.1 Introduction 225
10.2 Audit de la consommation d'énergie 225
10.2.1 Avantages d'un audit de la consommation d'énergie 225
10.2.2 Déroulement de l'audit 225
10.3 Recommandations d'actions correctives (RAC) 225
10.4 Conservation de l'énergie 226
10.4.1 Efficacité des ventilateurs 226
10.4.2 Échangeurs de chaleur 231
10.4.3 Systèmes de chauffage 235
10.4.4 Ventilation naturelle et ventilation mixte 238

10. Conservation de l'énergie

10.1 Introduction

La consommation d'énergie constitue une charge d'exploitation permanente pour les fermes d'élevage de bétail et de volaille. La mise en œuvre de pratiques et de techniques éconergétiques, c'est-à-dire plus efficaces au plan énergétique, permet de réduire les charges d'exploitation. En ce qui concerne plus particulièrement la ventilation, c'est l'électricité qui fait tourner les moteurs des ventilateurs et qui fournit en tout ou en partie le chauffage permettant de maintenir la température ambiante des bâtiments dans la zone thermoneutre des animaux.

Les producteurs peuvent, par un audit de la consommation d'énergie de leur exploitation, évaluer leurs méthodes de travail au plan de la consommation d'énergie et déterminer les aspects susceptibles d'être améliorés.

10.2 Audit de la consommation d'énergie

L'audit de la consommation d'énergie est un processus qui vise à identifier et à évaluer les possibilités d'optimisation de la gestion énergétique d'une exploitation agricole. Pour ce faire, on :

- recense toutes les sources d'utilisation de l'énergie;
- mesure la quantité d'énergie utilisée;
- détermine les différentes solutions de rechange permettant de réduire la consommation d'énergie;
- élabore un plan d'action, à partir d'une analyse économique des différentes solutions possibles, qui présente un avantage financier pour l'exploitant.

En définitive, l'audit de la consommation d'énergie doit déboucher sur des recommandations d'actions correctives (RAC) qui, si elles sont retenues après étude, seront mises en œuvre et feront l'objet d'un suivi dans le cadre d'une stratégie de réduction de la consommation d'énergie de la ferme.

10.2.1 Avantages d'un audit de la consommation d'énergie

Le résultat attendu de l'audit est de faire ressortir les mesures économiquement rentables qui rendront l'exploitation agricole plus efficace. La mise en œuvre de nombreuses RAC, rendue possible par de saines pratiques de maintenance, comporte l'avantage supplémentaire de faire baisser certaines charges d'exploitation connexes.

Pour l'exploitant, les avantages d'une efficacité énergétique accrue sont :

- des réductions de coût permanentes,
- une meilleure compréhension de la structure des coûts de production,
- une réduction du nombre de pannes et de réparations d'urgence,
- une amélioration du milieu offert aux animaux.

10.2.2 Déroulement de l'audit

La réalisation d'un audit de la consommation d'énergie n'a rien de compliqué. Le processus comprend six étapes.

1. Préparatifs
2. Collecte d'information et inspection du ou des bâtiments
3. Analyse des données
4. Mise en œuvre des recommandations
5. Documentation des activités relatives à l'audit
6. Examen des résultats

10.3 Recommandations d'actions correctives (RAC)

La consommation d'énergie liée à la ventilation des bâtiments d'élevage est surtout imputable au chauffage et au fonctionnement des ventilateurs. Les RAC découleront d'un examen attentif des modalités d'usage des systèmes et des décisions technologiques prises en matière de chauffage et de moteurs.

Chauffage

Voici une liste de mesures à envisager pour réduire la consommation d'énergie imputable au chauffage des bâtiments :

- Isoler l'enveloppe du bâtiment et les équipements « chauds » de celui-ci, comme les réservoirs et la tuyauterie de distribution de l'eau chaude.
- Calfeutrer le pourtour des portes et des fenêtres.
- Déconnecter ou mettre en état de veille ou d'arrêt les équipements inutilisés.
- Dans les coins à porcelets des porcheries-maternités, installer des cousins chauffants alimentés à l'électricité ou à l'eau chaude et régulés par des commandes.
- Installer des lampes chauffantes éconergétiques (avec leurs commandes).
- Dans les pouponnières, remplacer le chauffage par convection par des appareils à infrarouge.
- Entretenir, calibrer et régler correctement les régulateurs de ventilation.

Moteurs

Les mesures suivantes permettront de réduire la consommation d'énergie des moteurs :

- Installer des ventilateurs d'extraction et de recirculation éconergétiques.
- Gérer les ventilateurs de recirculation de manière efficace.
- Régler et gérer avec précision et efficacité les dispositifs de régulation du système de ventilation.

10.4 Conservation de l'énergie

La conservation de l'énergie consiste à réduire la consommation d'énergie par le recours à des technologies plus éconergétiques, c.-à-d. qui utilisent moins d'énergie pour parvenir aux mêmes résultats, ou qui font appel à des méthodes de gestion nouvelles. Par ces pratiques, l'exploitant pourra accroître ses économies, améliorer la qualité et la sécurité de l'environnement et augmenter le confort de ses animaux.

10.4.1 Efficacité des ventilateurs

Tous les moteurs de ventilateur portent une plaque signalétique qui précise leurs paramètres de fonctionnement. On y trouve notamment (dans la plupart des cas) la puissance nominale du moteur en HP, soit la puissance de l'arbre d'entraînement en fonctionnement continu. À noter que cette indication n'est pas un paramètre fiable pour comparer l'efficacité des ventilateurs.

La plaque signalétique indique également l'intensité du courant tiré en ampères (A) et sa tension électrique en volts (V), dans des conditions de fonctionnement continu. L'intensité en ampères et la tension en volts sont deux paramètres dont on aura besoin pour déterminer l'efficacité des ventilateurs. Il ne faut pas séparer ces deux paramètres.

- L'intensité en ampères n'est qu'un des nombreux facteurs qui déterminent le rendement d'un moteur. Cette donnée ne permet pas vraiment de comparer l'efficacité des ventilateurs.
- Autant que possible, on utilisera des moteurs fonctionnant à une tension de 240 volts plutôt que de 120 volts, parce que ces appareils font un usage plus efficace de l'énergie. Une tension supérieure permet en effet de réduire les pertes par résistance qui surviennent dans les fils alimentant les moteurs.
- Les fils d'alimentation des moteurs doivent être de calibre 12 ou plus gros, pour réduire les pertes de courant en cours de transmission.

Les figures 10.1 et 10.2 montrent deux modèles de ventilateur. Le premier est un modèle ancien peu efficace tandis que le deuxième est un modèle plus récent et plus efficace sur le plan énergétique.

Le ventilateur de la figure 10.1 est peu efficace pour les raisons suivantes :

- Le moteur est du type dit à enroulement auxiliaire de démarrage, dont l'efficacité globale est d'environ 60 % (soit l'efficacité avec laquelle

le moteur transforme l'énergie électrique en puissance de rotation), les 40 % restants étant perdus, principalement sous forme de chaleur.

- Les pales en aluminium en forme d'oreille d'éléphant s'adaptent mal à l'appareil.
- L'appareil ne comporte pas de section de transition.
- Les volets extérieurs en aluminium gèlent facilement. Comme ils sont interreliés, le gel de l'un entraine l'immobilisation de tous les autres.

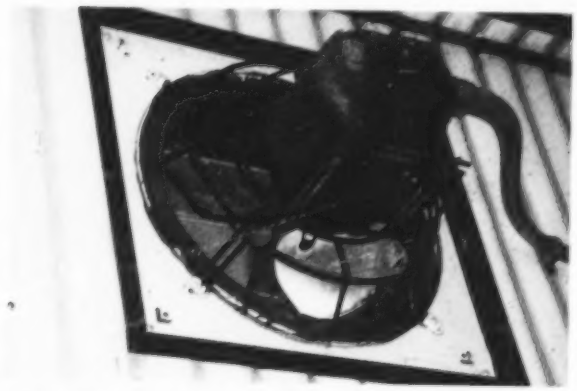


Figure 10.1 Ventilateur ancien avec pales en oreille d'éléphant très peu efficace

Le ventilateur de la figure 10.2 possède :

- un moteur à condensateur auxiliaire permanent d'une efficacité approximative de 75 % (les moteurs de ce type possèdent souvent un petit boitier fixé au carter; ce boitier contient le condensateur qui fait démarrer le moteur);
- des volets intérieurs en plastique qui se déplacent indépendamment les uns des autres (on les a ici retirés pour laisser voir l'intérieur);
- deux sections de transition;
- des pales appariées qui s'adaptent étroitement au carter de l'appareil.

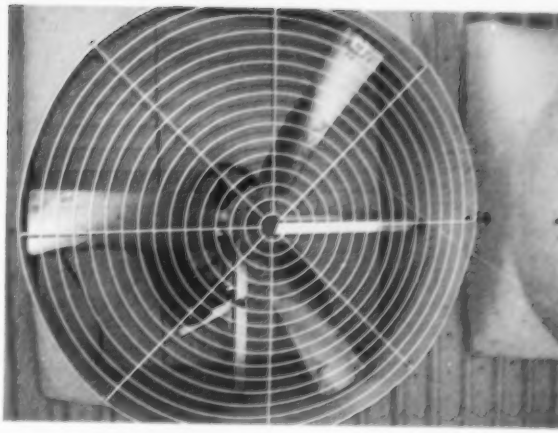


Figure 10.2 Ventilateur de conception récente, plus efficace

Nota : Les volets ont été retirés pour laisser voir la structure interne de l'appareil.

Il existe plusieurs façons de mesurer l'efficacité d'un ventilateur. La méthode la plus couramment admise consiste à mesurer le volume d'air déplacé par unité d'énergie électrique consommée (selon la formule pi^3/min/W), à une pression statique donnée. Si deux ventilateurs déplacent le même volume d'air à une même pression statique, c'est celui qui consomme le moins d'énergie pour arriver à ce résultat qui sera considéré le plus efficace.

Il faut choisir un ventilateur en fonction du volume d'air qu'il peut déplacer à une pression statique donnée, plutôt que d'après le diamètre des pales. Au moment de choisir un ventilateur en fonction de son efficacité énergétique, il faut s'assurer que les essais visant à mesurer l'efficacité de l'appareil (pi^3/min/W) ont été effectués par un laboratoire indépendant. En Amérique du Nord, il existe deux laboratoires de ce genre :

- le laboratoire de l'Air Movement and Control Association, Inc. (AMCA), basé à Chicago (Illinois) *(www.amca.org)*;
- le laboratoire BESS (Bioenvironmental and Structural Systems) de l'Université de l'Illinois. Ce dernier évalue chaque année un grand nombre de ventilateurs agricoles offerts dans le commerce. Les résultats des essais en situation réelle et des essais de rendement sont affichés sur son site Web et publiés une fois l'an. Voir *www.bess.uiuc.edu*.

Les débits en pi³/min/W sont présentés pour diverses pressions statiques, de 0,0 à 0,25 po CE, par sauts de 0,05 po.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Il faut comparer le rendement des ventilateurs à une même pression statique, généralement 0,10 po CE. Plus la valeur en pi³/min/W est élevée, plus le ventilateur est efficace.

Les rapports d'essai publiés par les laboratoires AMCA et BESS sont établis à partir d'un certain nombre de critères fondamentaux de conception et de sélection, décrits ci-dessous.

- Les débits d'air sont mesurés à différentes vitesses et pressions statiques, généralement après enlèvement des volets anti-retour.
- Les ventilateurs d'extraction fonctionnent rarement à une pression statique de zéro. Quand vient le temps de choisir un ventilateur, il est plus réaliste de comparer des ventilateurs qui ont été testés à des pressions statiques « standard », par exemple 0,10 po CE (25 Pa).
- Le rendement effectif total (débit d'air/énergie électrique consommée) est exprimé en pourcentage. Comme dans le cas des débits d'air des appareils, il faut toujours faire les comparaisons à une pression statique « standard », par exemple 0,10 po CE (25 Pa), et non pas à une pression statique zéro.
- On se sert des tableaux de rendement pour comparer l'efficacité des ventilateurs en fonction de leur débit de soufflage par unité de puissance électrique consommée, soit le rapport pi³/min/W. Ces valeurs, comme celle du rendement effectif total, permettent de comparer les ventilateurs à la même pression statique (par exemple, 0,10 po CE ou 25 Pa).
- AIR10 : débit en pi³/min à une pression statique de 0,10 po CE.

Normes d'efficacité

Il existe deux normes d'efficacité reconnues chez les fabricants de ventilateurs pour la comparaison de ces appareils.

- **le coefficient VER10 *(Ventilation Efficiency Ratio)* exprimant l'efficacité de la ventilation à une pression statique de 0,10 po CE.** Il s'agit du débit d'air total en pieds cubes par minute (pi³/min) à une pression statique de 0,10 po CE, divisé par la puissance électrique requise pour le produire en watts (pi³/min/W). Cette valeur est utilisée par le laboratoire BESS pour caractériser la performance des ventilateurs;
- **le coefficient AFR *(Air Flow Ratio)*.** Le coefficient AFR est le débit d'air en pi³/min à une pression statique de 0,20 po CE divisé par le débit d'air en pi³/min à une pression statique de 0,05 po CE. Ce résultat d'essai standard, publié par le laboratoire BESS, est un indicateur d'efficacité des ventilateurs qui n'exige pas la mention des rendements aux pressions statiques de 0,05 et 0,20 po CE. Les coefficients pour des ventilateurs d'extraction couramment utilisés dans des bâtiments d'élevage de bétail et de volaille vont de 0,50 à presque 1,0. Un coefficient AFR faible signifie que le débit en pi³/min chute rapidement à mesure que la pression statique augmente. Un coefficient AFR élevé signifie au contraire que le ventilateur reste très stable malgré les variations de pression.

Le coefficient AFR est une façon plus simple de comparer le rendement de divers ventilateurs, par opposition à une comparaison systématique à chaque niveau de pression statique, comme le propose la pratique EP566 de l'ASABE.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : La norme de rendement actuellement reconnue pour les ventilateurs d'extraction est un coefficient minimal AFR de 0,75 pour les ventilateurs de paliers 1 et 2 et de 0,70 pour les ventilateurs d'extraction des paliers suivants.

Tableau 10.1 Valeurs de rendement obtenues lors d'essais de ventilateurs de 18 po de diamètre de divers fabricants

Fabricant	N° d'essai	Modèle	Diam.	Cône	Volets	Air05	VER05	Air10	VER10	Coeff. AFR
Better Air	07478	LPF-1800C	18	O	P	4160	10,4	3980	9,7	0,86
Canarm	00097	FG118W60G31	18	N	P	3730	13,6	3470	12,2	0,75
Del-Air	02445	H18 avec cône	18	O	P	3090	8,5	3000	8,1	0,9
Exacon	07488e	AF18MQ	18	O	P	4020	10,9	3860	10,1	0,86
Exafan	00034	EU45 avec cône	18	O	P	4180	11,2	4060	10,4	0,83
Exafan	00033	EU45 avec capot	18	N	P	3680	8,6	3570	8,3	0,88
Prairie Pride Polyfan	99123	TR18	18	N	P	3900	10,1	3680	9,5	0,78
Prairie Pride Polyfan	99127	TR18F	18	N	P	3930	10,1	3730	9,4	0,8

Source : Laboratoire BESS, 2007

Fabricant : nom du fabricant et/ou du modèle de ventilateur

N° d'essai : n° attribué à l'essai par BESS

Modèle : n° exact de modèle attribué par le fabricant (permet l'identification complète du ventilateur, y compris les caractéristiques du moteur et d'autres caractéristiques facultatives)

Taille : tous les ventilateurs sont caractérisés par le diamètre de leur hélice, dans le présent cas 18 po

Cône : si le ventilateur est accompagné d'un cône de refoulement et testé avec ce cône

Volets : si le ventilateur est accompagné de volets et testé avec ces volets. A = aluminium, P = plastique

Air05 : débit d'air en pi^3/min à 0,05 po CE

Ver05 : taux d'efficacité énergétique en pi^3/min/W, à 0,05 po CE

Air10 : débit d'air en pi^3/min à 0,10 po CE

Ver10 : taux d'efficacité énergétique en pi^3/min/W, à 0.10 po CE

Coeff. AFR : coefficient de rendement du ventilateur mesuré en pi^3/min à 0,05 po CE, divisé par le débit d'air en pi^3/min à 0,20 po CE

Résultats d'analyse publiés par le laboratoire BESS

Le tableau 10.1 présente une analyse type de ventilateurs de 18 po de diamètre mis au banc d'essai par le laboratoire BESS en 2007. Ces données peuvent trouver de multiples usages.

La plupart des concepteurs choisissent une pression statique de fonctionnement de Air10 (soit 0,01 po CE), qui correspond à une pression statique de fonctionnement courante dans bien des bâtiments d'élevage. Dans certains cas, comme quand un ventilateur est complètement à l'abri du vent et est réglé pour fonctionner à une faible pression statique, un réglage à Air05 (0,05 po CE) pourra se révéler valable.

Le tableau d'essai de chaque ventilateur tient compte des capots de ventilateur et des auvents de protection des entrées d'air. Si ces derniers sont déjà en place, leurs effets sur la circulation de l'air seront pris en compte dans l'évaluation du taux d'efficacité énergétique VER et du coefficient de rendement AFR du ventilateur. Si les essais ont eu lieu sans l'équipement de protection et que celui-ci est ajouté, il faut s'attendre à une modification notable de la performance du ventilateur aux plans de l'efficacité énergétique et de la stabilité. Voir à ce sujet le site Web du laboratoire BESS à l'adresse www.bess.uiuc.edu pour un complément d'information et d'autres données sur le rendement des ventilateurs.

Voici les principales étapes à suivre pour choisir le ventilateur affichant la plus haute efficacité énergétique :

1. Déterminer d'abord le débit d'air que doit générer le ventilateur.
2. Déterminer la pression statique d'exploitation prévue, soit 0,05 soit 0,10 po CE. Pour une pression de 0,05 po CE, utiliser la colonne VER05; pour une pression de 0,10 po CE, utiliser la colonne VER10. On pourra choisir un ventilateur destiné à une exploitation à basse pression statique uniquement si l'appareil est bien protégé du vent.
3. Choisir le ventilateur possédant le coefficient AFR correspondant le mieux aux exigences nominales de l'installation, en se rappelant qu'une valeur AFR plus élevée assure une meilleure stabilité face aux variations de la pression.

Exemple : à partir des données du tableau 10.1, choisir le ventilateur qui pourra générer le plus efficacement possible un débit d'air d'au moins 3 400 pi³/min (il s'agit d'un ventilateur de palier 1 qui fonctionne en permanence). Comme le ventilateur en question n'est pas exposé au vent (les entrées et les sorties d'air sont protégées des grands vents), un coefficient AFR de 0,75 est acceptable.

1. Trouver un ventilateur capable de générer un débit d'au moins 3 400 pi³/min.
2. Déterminer la pression statique d'exploitation normale. Dans le présent cas, il faut prévoir une pression de 0,10 po (on consultera donc la colonne VER10).
3. Choisir, dans la colonne VER10, le ventilateur affichant la plus grande efficacité énergétique.

Solution : Le modèle FG118W60G31 de la société Canarm possède le plus haut niveau d'efficacité dans la colonne VER10, avec un débit de 12,2 pi³/min pour un coefficient de rendement AFR de 0,75.

Si le débit requis est plus élevé ou si le rendement de l'appareil doit être plus stable, on se tournera vers un autre choix. Dans une zone exposée à de forts vents, le ventilateur Exacon AF18MQ serait préférable. Il n'est pas aussi éconergétique (VER10 = 10,1), mais il est plus stable pour une plus large gamme de pressions statiques (coefficient AFR = 0,86).

Norme ASABE

La société American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) a élaboré une norme d'application pratique (EP566) couramment utilisée partout en Amérique du Nord, qui contient une série de recommandations définissant les valeurs minimales d'efficacité énergétique pour les ventilateurs de 24, 36 et 48 po de diamètre. Ces recommandations guident les concepteurs dans le choix de ventilateurs éconergétiques. Elles guident aussi les services publics dans l'élaboration des incitatifs offerts à leurs clients pour l'acquisition de tels ventilateurs. Le tableau 10.2 et la figure 10.3 présentent un résumé de la norme EP566 en ce qui concerne les taux d'efficacité énergétique minimaux recommandés.

Tableau 10.2 Pression statique et efficacité des ventilateurs

Pression statique (po CE)	Efficacité de l'appareil (pi³/min/W)		
	Ventilateur de 24 po	Ventilateur de 36 po	Ventilateur de 48 po
0,00	14,0	20,4	21,9
0,05	12,9	18,3	19,7
0,10	11,9	16,2	17,6
0,15	10,9	14,1	15,4
0,20	9,7	11,4	12,6
0,25	8,2	8,6	9,8

Source : Norme EP566 de l'ASABE.

Il faut viser un niveau d'efficacité énergétique qui soit au-dessus du niveau minimal moyen requis par les normes. Par ailleurs, s'il est vrai que le niveau d'efficacité est un excellent critère pour définir une norme de rendement applicable aux ventilateurs, ce n'est pas le seul aspect à considérer dans le choix d'un appareil éconergétique. En s'attachant exclusivement au taux d'efficacité énergétique VER, on risque de se retrouver avec un appareil offrant des débits élevés dans des conditions d'essai idéales, mais qui ne pourra peut-être pas atteindre les débits attendus lors des variations de la pression statique.

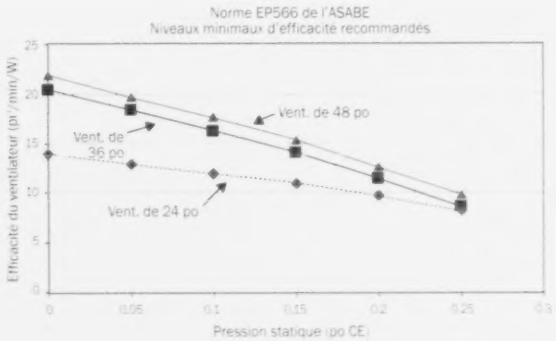


Figure 10.3 Niveaux minimaux d'efficacité énergétique recommandés par la société ASABE pour des ventilateurs de 24, 36 et 48 po

Le concepteur peut choisir le ventilateur qui présente les caractéristiques optimales dans chaque cas en combinant les valeurs AFR et VER et en tenant compte des exigences liées à l'usage précis qu'on veut en faire et des conditions dans lesquelles il sera utilisé, eu égard au volume d'air à déplacer, à la pression statique de calcul, au palier de ventilation,

au pourcentage de temps de fonctionnement, etc. On vérifiera notamment si les débits (pi³/min) ont tendance à chuter brutalement à mesure que les pressions statiques augmentent, ce qui signifierait que le ventilateur supporte mal l'effet des pressions exercées par le vent.

Par exemple, le choix d'un ventilateur éconergétique de palier 1 d'une capacité de 3 000 pi³/min lorsqu'il fonctionne à une pression de 0,10 po CE, dont la capacité chute à 1 000 pi³/min lorsque la pression statique monte à 0,25 po CE, ne se justifie pas s'il s'agit d'un appareil à vitesse variable installé dans un endroit venteux. Un appareil moins éconergétique qui génère 3 000 pi³/min à 0,10 po CE et 1 800 pi³/min à 0,25 po CE sera plus fiable dans ce cas précis. Un mauvais choix de ventilateurs pour les paliers 1 et 2 entraîne de sérieux désavantages au plan économique, sous forme d'un allongement des durées de fonctionnement des appareils, d'une mauvaise qualité de l'air ambiant, etc.

La figure 10.4 compare les courbes de rendement de deux ventilateurs de 24 po.

Le ventilateur A déplace un volume d'air supérieur et présente une courbe de rendement plus stable, avec une baisse de 23 % seulement du débit, soit de 7 200 à 5 500 pi³/min, lorsque la pression statique augmente à 0,30 po CE. Son coefficient AFR est de 0,92.

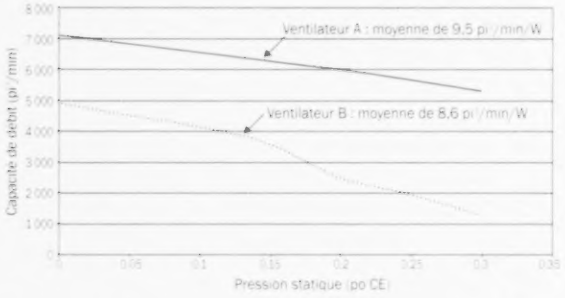


Figure 10.4 Comparaison des courbes de rendement de deux ventilateurs de 24 po fonctionnant à diverses pressions statiques

Il ne fait pas de doute que le choix B est moins intéressant que le choix A, surtout dans un contexte venteux. L'appareil B génère un débit inférieur (4 900 pi³/min), débit qui chute de 73 %, soit à 1 300 pi³/min lorsque la pression statique monte à 0,30 po CE; son coefficient AFR est d'à peine 0,61.

10.4.2 Échangeurs de chaleur

Un échangeur de chaleur est un appareil qui transfère de la chaleur d'un milieu à un autre. On en trouve des exemples dans les climatiseurs, les réfrigérateurs, les voitures (radiateurs de moteur), etc. Les échangeurs utilisés à la ferme ont pour fonction de récupérer une partie de la chaleur présente dans l'air vicié chaud et humide qu'on expulse à l'extérieur et de la transférer à l'air entrant, froid et sec, qu'on tire de l'extérieur pour renouveler l'air ambiant. En réchauffant ainsi l'air frais extérieur, on a besoin d'un moins grand apport de chaleur d'appoint produit par les aérothermes (grosses chaufferettes en forme de boîtes carrées) et les tubes rayonnants pour maintenir la température du local à la température de consigne principale.

Les deux flux d'air (l'air chaud vicié intérieur et l'air frais extérieur) sont bien sûr séparés pour éviter que l'air frais provenant de l'extérieur ne soit contaminé. Les échangeurs d'air des exploitations agricoles sont généralement constitués de matière plastique et d'acier inoxydable en raison de la nature fortement corrosive de l'air ambiant intérieur. Les figures 10.5 et 10.6 en présentent deux exemples.

Figure 10.5 Échangeur de chaleur air-air à plaques

Source : Del Air Corp, Humboldt (Saskatchewan)

Figure 10.6 Échangeur de chaleur à calandre

Source : Exacon Inc.

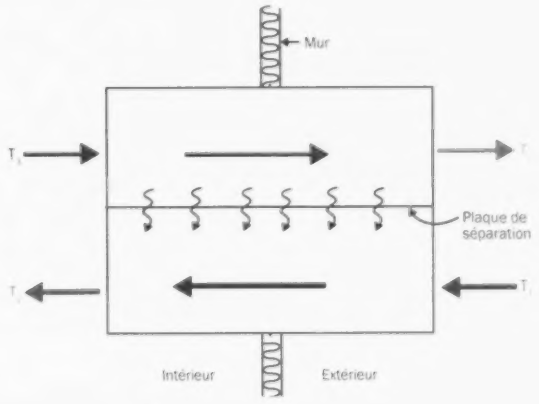
Terminologie des échangeurs de chaleur

Plage de débits pour des appareils à plusieurs vitesses. La plupart des échangeurs de chaleur sont dotés d'une commande de vitesse permettant de faire varier leur débit entre un réglage continu et un réglage haut. Cette fonction est notamment utile lorsqu'on veut, par exemple, augmenter le débit d'air pour desservir un plus grand nombre d'animaux ou le ralentir en raison de températures très froides.

Efficacité du déplacement de l'air. Cet indice de performance met en rapport le volume net d'air déplacé et la consommation d'électricité de l'appareil, selon la formule $pi^3/min/W$.

Efficacité de la récupération d'énergie sous forme de chaleur sensible

On détermine le niveau de récupération de la chaleur sensible en mesurant la différence de température entre les courants d'air entrant et sortant (figure 10.7). Le taux normal de récupération de nombreux systèmes varie de 52 à 84 % (une valeur supérieure indiquant bien sûr une récupération plus grande).



T_1 Air extérieur dans l'échangeur
T_2 Air extérieur hors de l'échangeur
T_3 Air intérieur dans l'échangeur
T_4 Air intérieur hors de l'échangeur

Figure 10.7 Double circulation de l'air dans un échangeur de chaleur

Exemple de calcul de la récupération de chaleur sensible (RCS)

Calculer la RCS dans une installation d'engraissement de porcs dotée d'un échangeur de chaleur, en utilisant la formule suivante :

$$RCS = (T_2 - T_1) \div (T_3 - T_4) \times 100$$

Les températures à utiliser sont les suivantes :

$T_1 = -1{,}7$ °C
$T_2 = 5{,}5$ °C
$T_3 = 21{,}1$ °C
$T_4 = 10$ °C

$RCS = (5{,}5 - [-1{,}7]) \div (21{,}1 - 10) \times 100$
$RCS = 65$ %

Dans cet exemple, on voit que 65 % de la chaleur sensible est récupérée. À noter que le résultat ne tient pas compte de l'énergie de chaleur latente, qui constitue une part non négligeable de l'énergie récupérée.

Exemple de calcul de la quantité totale d'énergie récupérée

Pour calculer la quantité totale d'énergie thermique récupérée, il faut connaître le débit d'air, ainsi que la température et le taux d'humidité de cet air. Pour déterminer la quantité d'énergie thermique contenue dans l'air, on utilise la formule suivante :

$$Q = m \times Cp \times dT$$

où :

Q = énergie thermique contenue dans l'air en BTU/h

m = débit massique de l'air en lb/h

Cp = chaleur spécifique de l'air en BTU/lb-°F

dT = différence entre la température de l'air intérieur et la température de l'air extérieur pour l'air évacué, et entre la température de l'air extérieur et la température de l'air frais une fois rendu à l'intérieur, en ce qui concerne l'air entrant.

Les tableaux 10.3 et 10.4 donnent un exemple de calcul de la quantité totale d'énergie récupérée (chaleur latente et chaleur sensible) grâce à l'échangeur de chaleur. La quantité d'énergie rejetée à l'extérieur s'élève à 94 600 BTU/h; l'échangeur de chaleur permet d'en récupérer 32 300 BTU/h. La proportion d'énergie récupérée s'élève donc à : 32 300/94 600, soit 34 %.

1. Énergie thermique contenue dans l'air évacué à l'extérieur = 950 pi^3/min x 60 min/h x 0,08 lb/pi^3 x 0,24 BTU/lb-°F x (70 – [-16,4]) °F = 94 600 BTU/h

   a. 0,08 lb/pi^3 : densité de l'air

   b. 0,24 BTU/lb-°F : chaleur spécifique (ou massique) de l'air

2. Énergie thermique contenue dans l'air frais livré à l'intérieur = 645 pi^3/min x 60 min/h x 0,08 lb/pi^3 x 0,24 BTU/lb-°F x (70 – [-16,4]) °F = 32 300 BTU/h

Humidité extraite du bâtiment :
Un volume d'air à 21 °C (70°F) et dont le niveau d'humidité relative est de 70 % contient 0,010 lb d'eau/lb d'air évacué.

Humidité évacuée par jour = 0,010 lb d'eau/lb d'air x 950 pi^3/min x 60 min/h x 24 h/j x 0,08 lb/pi^3 = 1 094,4 lb/jour = 109 gal/j (10 lb/gal), ou = 497 L/j.

Tableau 10.3 Calcul de la quantité d'énergie récupérée par l'échangeur de chaleur donné en exemple

	Échangeur de chaleur (capacité : 1 000 pi^3/min)
Volume d'air intérieur évacué, en pi^3/min	950
Volume d'air frais livré à l'intérieur, en pi^3/min	645
Température de l'air frais, en degrés °C (°F)	-1 (30)
Quantité de chaleur interne évacuée, en BTU/h	94 600
Quantité de chaleur récupérée, en BTU/h	32 300
Efficacité énergétique	34 %
Humidité extraite du bâtiment, en gal/jour (L/jour)	109 (497)

Tableau 10.4 État atmosphérique des lieux

Air extérieur = -27 °C (-16,4 °F), 95 % HR
Air ambiant intérieur = 21 °C (70 °F), 70 % HR
Pression statique à l'intérieur du bâtiment = -0,05 po CE (12 Pa)

Installation d'un échangeur de chaleur

Voici divers points à considérer lors de l'installation d'un échangeur de chaleur :

- **L'échangeur choisi doit normalement pouvoir traiter les débits de ventilation minimaux de palier 1.** Dans le cas des élevages où se pratique la conduite en bande, ces débits évoluent à mesure que les animaux grossissent. Les appareils doivent posséder la capacité voulue pour assurer la ventilation de locaux abritant de gros animaux, mais doivent être dotés de moteurs à vitesse variable pour répondre aux besoins de ventilation moindres des jeunes animaux.
- **Facilité de nettoyage.** L'atmosphère de la plupart des bâtiments d'élevage est généralement chargée de poussière, de sorte que les échangeurs de chaleur ont tendance à s'encrasser rapidement. Il faut donc que les appareils possèdent des ouvertures facilement accessibles pour l'inspection et le nettoyage et que les trappes d'accès soient munies de joints d'étanchéité souples et de bonne qualité.
- **Filtres et modules centraux lavables.** Le module central et les filtres de l'appareil doivent être faciles à rejoindre et à laver. Le module central doit être amovible ou facilement accessible par une trappe d'accès.
- **Dégivrage.** Il n'est pas rare que le point de rosée soit atteint à l'intérieur des échangeurs. L'air humide intérieur refroidi par le processus d'échange de chaleur abandonne alors, sous forme de condensation, l'humidité qu'il contient. L'eau condensée gèle si la température de la surface de l'appareil est sous le point de congélation. La glace s'accumule alors rapidement et bouche les conduits de circulation, rendant l'appareil totalement inopérant. Certains modèles possèdent une fonction qui amorce régulièrement un cycle de dégivrage dès que la température extérieure tombe sous un certain seuil (-5 °C ou moins). Accessoirement, chaque cycle débarrassera l'appareil d'une partie de la poussière accumulée.
- **Efficacité de la distribution de la ventilation.** L'installation d'un échangeur comporte obligatoirement une étape préliminaire, soit le dessin d'un plan qui permettra de faire passer par l'appareil tout l'air qui entre dans le bâtiment et qui en sort. Dans les grands bâtiments, il pourra se révéler nécessaire d'installer de multiples appareils, seule façon d'assurer une distribution uniforme de l'air frais. On peut aussi décider d'utiliser un seul appareil de grande puissance qui sera au cœur d'un réseau de conduits qui iront chercher l'air à l'extérieur et le distribueront uniformément dans le bâtiment. À noter toutefois que l'ajout de conduits augmente les coûts en immobilisations au départ et d'entretien par la suite et doit être planifié dès le stade de la conception.
- **Isolation des conduits.** Les conduits qui distribuent l'air frais extérieur doivent être isolés. Le chauffage partiel de l'air lors de son passage dans l'échangeur de chaleur n'est pas suffisant pour relever la température des conduits au niveau de l'air ambiant. Si le point de rosée est atteint en surface, l'humidité ambiante s'y déposera, ce qui nécessitera le nettoyage périodique des conduits pour éviter l'apparition de pathogènes affectant les animaux.
- **Étanchéité des conduits et du module central de l'appareil.** Les flux d'air frais extérieur et d'air vicié intérieur circulent côte à côte dans le module central de l'échangeur. Il est important que les deux courants soient séparés de manière étanche afin que les conduits d'approvisionnement en air frais restent propres et ne nécessitent pas d'entretien et afin d'éviter une contamination de l'air frais extérieur qui circule dans les conduits de distribution. Ceux-ci risqueraient en effet d'être envahis par des agents pathogènes, ce qui minerait la santé du troupeau.
- **Régulation et intégration avec le système de ventilation.** Le but visé par l'installation d'un échangeur de chaleur est de réduire, sinon d'éliminer le recours à des sources de chauffage d'appoint. Pour y arriver, il faudra cependant régler certaines questions de régulation.

- Une baisse de la température ambiante amènera le régulateur automatique de ventilation à commander un supplément de chaleur en faisant démarrer l'échangeur de chaleur, tout en réduisant la vitesse du ventilateur assurant la ventilation minimale pour diminuer son débit de soufflage d'un volume égal au volume ajouté par l'échangeur d'air, ou en l'arrêtant complètement. L'échangeur de chaleur sera mis au repos dès que la température ambiante aura retrouvé son niveau normal.
- Certains échangeurs de chaleur comportent plusieurs vitesses de fonctionnement ou sont à vitesse variable. Le régulateur doit pouvoir gérer les diverses configurations possibles.
- En cas de baisse persistante de la température, le régulateur doit pouvoir compter sur d'autres sources de chaleur.

10.4.3 Systèmes de chauffage

Pour protéger des chocs thermiques les animaux sensibles ayant une zone thermoneutre très étroite, il faut une source de chaleur d'appoint, laquelle permettra au système de ventilation d'assurer un renouvellement suffisant de l'air ambiant pour éliminer l'excès d'humidité et de maintenir la température au niveau souhaité.

Il existe plusieurs possibilités de réaliser des gains d'efficacité énergétique dans le chauffage des bâtiments abritant du bétail et de la volaille.

Coins à porcelets

Des sources de chaleur ponctuelles sont nécessaires pour garder au chaud les porcelets dans les porcheries-maternités. La santé et le gain de poids des petits en dépendent. Pour bien se nourrir et produire un maximum de lait, la truie quant à elle exige un milieu beaucoup moins chaud. Si la température est trop basse, les porcelets subiront un stress qui nuira à leur croissance et à leur état de santé générale, en plus de les exposer à un risque accru d'écrasement.

Plusieurs facteurs influencent la température du milieu de vie des porcelets :

- les déplacements de l'air,
- le taux d'humidité relative,
- le type de plancher,
- le nombre de porcelets que compte la portée,
- la température des murs, du sol et du plafond autour des porcelets.

La température réelle des lieux est le résultat combiné de tous ces facteurs.

Lampes chauffantes

Les lampes chauffantes permettent aux porcelets de bénéficier d'une température élevée (jusqu'à 37 °C à la naissance) sans quitter la proximité de la mère, qui, elle, préfère une température plus basse, entre 18 et 20 °C.

La plus récente innovation en matière de lampes chauffantes est une lampe plus éconergétique qui permet de créer un microclimat stable à 37 °C sur une surface de 20 po x 20 po (50 cm x 50 cm). La durée de vie des lampes et les économies qu'elles autorisent peuvent être optimisées par l'emploi du régulateur et du support conçus spécialement pour elles (figure 10.8).

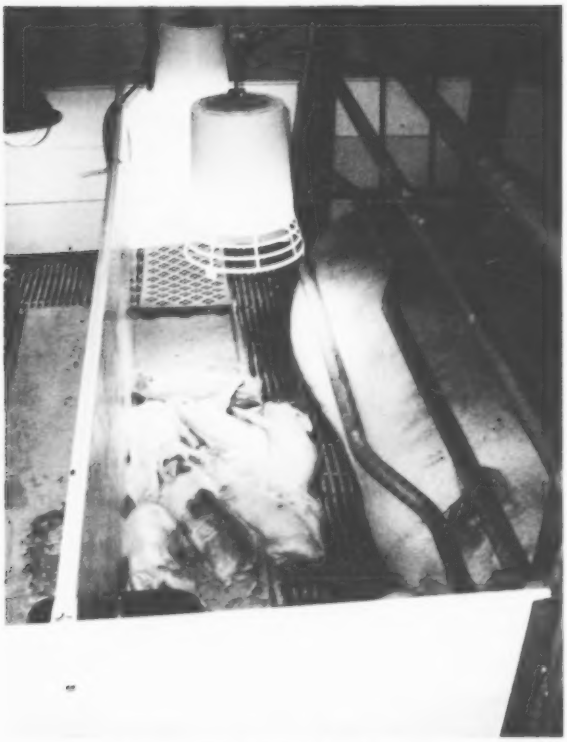


Figure 10.8 Lampe chauffante de 175 W avec son support

Source : Retrolite Corp of America.

Coussins chauffants

Les coussins chauffants peuvent être alimentés à l'électricité ou par des tuyaux d'eau chaude. Dans ce dernier cas, il faudra concevoir avec soin la tuyauterie et le système de régulation en tenant compte des contraintes suivantes :

- les tuyaux doivent être isolés par une couche de béton en dessous et sur les côtés, de façon à éviter la formation de ponts thermiques en direction des couloirs de service, etc.
- la capacité des pompes et des tuyaux doit être soigneusement étudiée pour permettre à l'eau de joindre les coussins à une vitesse suffisante, de sorte que tous reçoivent le même niveau de chaleur. De nombreuses installations en usage utilisent des tuyaux et des pompes trop petites pour respecter cette exigence.

Les coussins électriques sont plus couramment utilisés. Un coussin électrique d'une puissance maximale de 65 W procure aux porcelets le même niveau de confort qu'une lampe chauffante de 175 W, ce qui représente une économie non négligeable. La régulation de la température du coussin chauffant est primordiale, car il faudra abaisser la température à mesure que les animaux gagneront du poids. Un coussin trop chaud amènerait les animaux à le déserter et à s'exposer ainsi à des risques d'écrasement ou de coup de froid (figure 10.9).

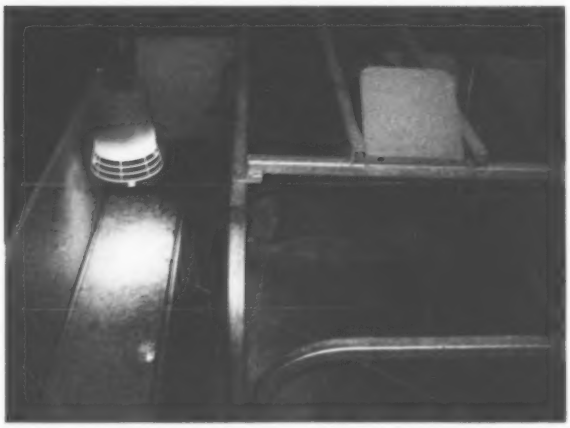


Figure 10.9 Coussin trop chaud incitant les porcelets à se coucher sur leur mère

Dans les coins à porcelets des cases de parturition, un coussin chauffant est plus éconergétique qu'une lampe.

- **Un coussin chauffant exerce son action sur une surface plane.** Un coussin chauffant transfère 100 % de sa chaleur aux animaux qui se couchent dessus sans les pertes de chaleur par conduction ou convection, comme c'est le cas avec une lampe chauffante.
- **Une lampe chauffante fonctionne selon le même principe qu'une lampe incandescente.** Le courant électrique traverse le filament à l'intérieur de la lampe et le fait chauffer à blanc, ce qui provoque l'émission de lumière. Seulement 5 % (environ) de l'énergie électrique consommée se transforme en lumière. Le reste est converti en chaleur, soit 50 % sous forme de chaleur rayonnante et 45 % sous forme de chaleur dissipée par convection et conduction. Pour l'essentiel, cette dernière forme d'énergie est perdue, à tout le moins du point de vue des porcelets. La chaleur du filament se transmet en effet au corps de l'ampoule, celle-ci réchauffant

alors l'air environnant qui s'élève par effet de convection, bien loin des porcelets. Cette énergie thermique n'est pas totalement perdue dans la mesure où elle contribue à réchauffer l'air ambiant par temps froid.

La figure 10.10 présente une comparaison de la consommation d'électricité par un coussin chauffant de 65 watts et une lampe chauffante de 175 watts qui procurent tous deux le même degré de confort aux porcelets dans une case de parturition. Ce tableau montre que le coussin chauffant utilise environ la moitié de l'énergie que consomme la lampe chauffante pour un même niveau de confort des animaux.

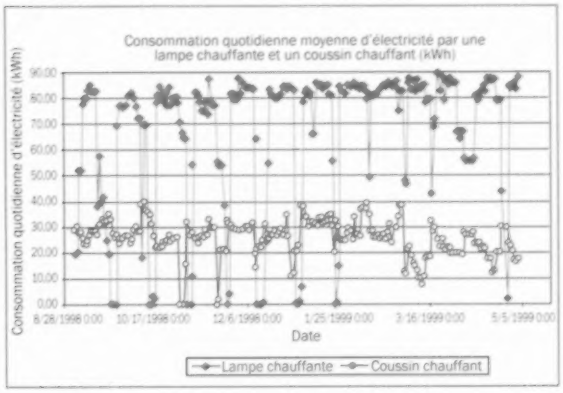


Figure 10.10 Comparaison de la consommation d'électricité par un coussin chauffant de 65 W et une lampe chauffante de 175 W

Source : Canadian Society of Biological Engineers, bulletin n° 06-224.

Chauffage par lampe infrarouge

Les lampes infrarouges constituent un moyen efficace de fournir un chauffage ponctuel dans une zone précise. Comme le fait le soleil, ces lampes transmettent leur chaleur par l'intermédiaire de rayons infrarouges qui traversent tout l'espace et ne libèrent leur énergie que lorsqu'ils touchent la terre. À l'exemple du soleil, le gaz naturel, le propane et les radiateurs électriques à infrarouge émettent un rayonnement infrarouge.

Les systèmes classiques de chauffage à air pulsé (pour le chauffage des locaux), entrainent des pertes d'énergie importantes en dispersant l'air chaud dans la totalité de l'espace délimité par le local. On sait que l'air chaud a tendance à s'élever vers le plafond, où il n'est généralement pas utile. Les systèmes de chauffage par rayonnement infrarouge, au contraire, dirigent l'énergie thermique à l'endroit précis où on le souhaite – dans le cas présent, vers le sol. Autre avantage : la chaleur rayonnante qui parvient à la cible visée est moins perturbée par les multiples déplacements d'air qui caractérisent un bâtiment occupé par des animaux.

L'American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) de même que l'American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) ont publié les résultats de recherches concernant la consommation énergétique des appareils de chauffage par rayonnement infrarouge. Aux fins du calcul théorique des besoins de chauffage, on peut, par l'adjonction d'appareils à rayonnement infrarouge, réduire de 15 % la capacité du système de chauffage à air pulsé qui chauffe un bâtiment. Des économies annuelles de l'ordre de 15 % ne sont pas exceptionnelles.

Plusieurs types d'appareils de chauffage par rayonnement sont utilisés en agriculture, qu'il s'agisse par exemple des lampes chauffantes dans les compartiments chauds des pouponnières ou des appareils rayonnants au gaz basse et haute intensité. Les appareils basse intensité fonctionnent avec des tubes; leur température de surface varie de 650 °C à l'extrémité voisine du brûleur à 200 °C au point d'échappement des gaz.

Les appareils infrarouges basse intensité sont utilisés dans les poulaillers de poulets à griller, les pouponnières à porcs et les porcheries de reproduction et de gestation à plafond élevé, ainsi que dans les ateliers de travail. Les appareils à rayonnement infrarouge haute intensité se retrouvent surtout dans les poussinières (figure 10.11) et occasionnellement dans les locaux abritant des animaux naissants.

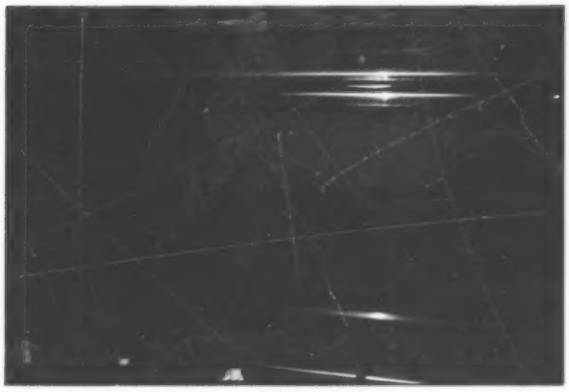


Figure 10.11 Tubes rayonnants infrarouges basse intensité

On a vu récemment apparaître sur le marché de nouveaux modèles d'appareils infrarouges basse intensité dotés de brûleurs à deux allures procurant des économies atteignant 12 %, auxquels on peut adjoindre des condensateurs qui assurent une économie supplémentaire de 10 %. Les économies réelles dépendent en fait de différents facteurs locaux comme l'emplacement de l'appareil, la hauteur des plafonds, le système de régulation utilisé et les méthodes de gestion.

Énergie solaire

Les systèmes de chauffage solaire de type passif comprennent de grands panneaux collecteurs qui absorbent l'énergie thermique provenant du rayonnement solaire. Dans les bâtiments de ferme (et les ateliers connexes) bénéficiant du chauffage solaire, l'air frais de ventilation provenant de l'extérieur passe à travers ces panneaux collecteurs qui le préchauffent, ce qui réduit d'autant la quantité de chaleur qu'il faudra fournir au bâtiment par temps ensoleillé. Il suffira ensuite de calculer la capacité des équipements de chauffage d'appoint qui permettront de maintenir la température intérieure à un niveau satisfaisant en hiver par temps nuageux et lors des nuits froides.

La figure 10.12 montre les panneaux collecteurs qui font aussi office de capots protecteurs de la prise d'air frais. Le pied des capots est fermé par temps froid pour forcer l'air frais extérieur à passer à travers les fentes spécialement aménagées dans la surface du métal pour que celui-ci livre le maximum d'énergie thermique provenant du rayonnement solaire.

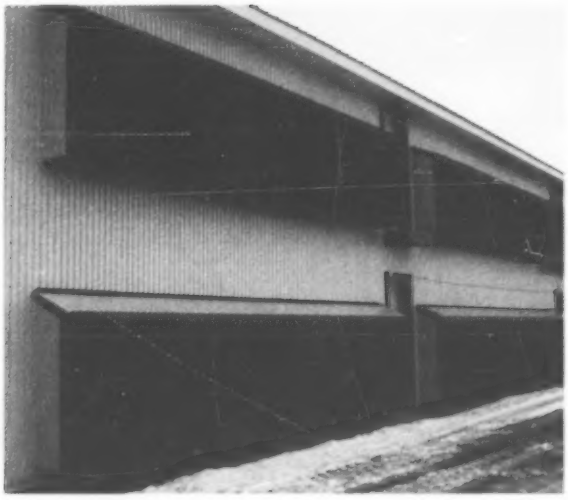


Figure 10.12 Panneaux solaires recouvrant les entrées d'air d'un poulailler de poulets à griller

Ces panneaux permettent de relever la température des volumes d'air frais aspirés à l'intérieur, jusqu'à 9,4 °C au-dessus de la température extérieure. La technique a été utilisée avec succès sur une large gamme de bâtiments d'élevage abritant notamment des poules pondeuses, des poulets à griller, des dindonneaux nouveau-nés, des dindons à l'engrais, des porcelets, des truies lors de la mise-bas et des veaux de races laitières.

Les économies d'énergie à réaliser varient d'un cas à l'autre, en fonction du type d'élevage, de l'espace libre (en longueur et en hauteur) pour les panneaux, des débits d'air assurant la ventilation minimale, de l'orientation du bâtiment par rapport au soleil (l'orientation plein sud étant la meilleure) et même de la quantité d'énergie solaire reflétée par la neige. On pourra demander au fournisseur des panneaux de présenter une estimation des économies annuelles d'énergie réalisables.

10.4.4 Ventilation naturelle et ventilation mixte

L'implantation dans un bâtiment d'élevage d'un système de ventilation naturelle ou mixte (naturelle et mécanique) comporte de nombreux avantages.

- En été, l'intérieur du bâtiment est beaucoup plus lumineux que celui d'un bâtiment ventilé mécaniquement.

- Un bâtiment à ventilation mixte muni de rideaux latéraux translucides est aussi plus lumineux en hiver, même lorsque les rideaux sont fermés.
- Les pannes de courant ne causent évidemment aucun problème de ventilation.
- L'intérieur du bâtiment est aussi plus silencieux.
- Les coûts d'exploitation du système de ventilation sont grandement réduits.

Applications

La ventilation naturelle est habituellement recommandée pour les élevages de bovins de boucherie, de moutons, de vaches laitières en stabulation libre et entravée, de veaux et de génisses. Ces animaux, à l'exception des veaux, sont en effet mieux armés pour résister au temps froid et au vent.

Les bâtiments à ventilation naturelle comptent sur l'action du vent l'année durant et sur l'effet de cheminée (ou tirage) en hiver pour le renouvellement de l'air ambiant, la température intérieure étant régulée par l'ouverture ou la fermeture des panneaux dans les murs latéraux. Ces bâtiments sont soumis aux fluctuations du vent – en force et en orientation – et aux fluctuations des températures extérieures, ce qui rend aléatoires le maintien de températures uniformes ou la distribution des volumes d'air frais à l'intérieur.

En ce qui a trait aux projets de conversion à la ventilation naturelle de porcheries de gestation et de finition et de poulaillers, seule une ventilation mixte (naturelle et mécanique) pourra être envisagée. Un système mixte comporte un nombre minimal de ventilateurs et d'entrées d'air dont l'ouverture en hiver est réglée en fonction de la température extérieure; il permet de réguler facilement et avec précision l'évacuation de l'air et procure une distribution uniforme de l'air frais. Les effets de l'orientation et de la vitesse du vent sur une ventilation mixte sont beaucoup moins importants. Les frais de fonctionnement du ventilateur unique (ou de l'ensemble des ventilateurs dans le cas de grands bâtiments exigeant plusieurs ventilateurs de palier 1 assurant la ventilation minimale) seront minimes comparativement aux frais de chauffage en hiver d'un bâtiment identique ventilé de façon totalement naturelle.

Les frais d'installation sont semblables, qu'il s'agisse d'un système de ventilation naturelle, mécanique ou mixte. Il pourra y avoir certains écarts de prix d'un système à l'autre selon les préférences exprimées par l'exploitant ou le concepteur – par exemple, l'ajout d'une ventilation longitudinale, l'installation de panneaux d'entrée d'air de grandes dimensions, etc.

La photo de la figure 10.13 montre une étable laitière à stabulation libre qui utilise des cheminées pour évacuer l'air vicié l'automne, l'hiver et au printemps. En hiver, les rideaux des murs latéraux sont légèrement ouverts pour assurer un minimum de ventilation, tandis qu'en été, on les ouvre complètement pour permettre à l'air extérieur de bien ventiler les lieux.

Figure 10.13 Étable laitière à ventilation naturelle, avec deux rideaux

La photo de la figure 10.14 montre une porcherie d'engraissement à ventilation mixte, dont le plancher est entièrement latté et où l'on assure le renouvellement de l'air intérieur à l'automne, en hiver et au printemps à l'aide de ventilateurs de fosses. L'été venu, on ouvre grand les panneaux des murs latéraux pour créer une ventilation naturelle.

Figure 10.14 Porcherie d'engraissement à ventilation mixte, avec plancher entièrement latté

Coûts d'exploitation des systèmes de ventilation

Les coûts d'exploitation d'un système de ventilation peuvent être élevés. Les données du MAARO pour 2005 indiquent que le coût de l'énergie pour faire tourner les ventilateurs d'un système de ventilation varie entre 2 et 3 $ par porc au poids de marché, lorsque l'électricité se vend 0,11 $/kWh. La conversion à une ventilation totalement naturelle permettra d'éliminer presque complètement ces coûts.

Dans la plupart des systèmes de ventilation mixte, les ventilateurs électriques comblent entre 30 et 40 % des besoins totaux de ventilation. Selon la date d'arrêt au printemps et de redémarrage à l'automne des ventilateurs électriques, la conversion à un système de ventilation mixte pourra couper la facture d'électricité associée aux ventilateurs d'extraction dans une proportion pouvant atteindre 75 %.

Table des matières

11. Mise en service et calibrage 243

11.1 Introduction 243
11.2 Mise en service et calibrage 243
11.2.1 Vérification des capteurs de température 243
11.2.2 Vérification des capteurs d'humidité 245
11.2.3 Vérification des fonctions du régulateur de ventilation 245
11.2.4 Programmation des paramètres du régulateur de ventilation 246
11.2.5 Autres réglages du régulateur 253
11.3 Tableau des procédures normales d'exploitation 255
11.4 Réglages du régulateur de ventilation naturelle 256
11.5 Réglages du régulateur de ventilation mixte 257

11. Mise en service et calibrage

11.1 Introduction

Dans la plupart des bâtiments d'élevage, la ventilation est constamment nécessaire si l'on veut maintenir un troupeau productif. Bien des producteurs achètent les appareils de ventilation et de chauffage indépendamment les uns des autres auprès d'un certain nombre de fournisseurs. Ils en confient l'installation au constructeur ou à un électricien. Cette façon de faire donne parfois des systèmes peu performants qui ne sont pas nécessairement économiques au final et qui peuvent donner lieu à des pertes de temps, à de la frustration et à une détérioration de la santé des animaux.

Au moment de planifier la rénovation ou la construction d'un bâtiment d'élevage, il est conseillé de concevoir le système de ventilation comme un tout. Les données de conception peuvent par la suite servir à comparer les prix offerts pour l'installation, le calibrage et la mise en service du système au complet. Cette façon de procéder permet d'obtenir des prix très concurrentiels, car les fournisseurs ont alors la possibilité de vendre un système complet. Le producteur y trouve aussi son compte, car une seule entreprise se charge de l'installation et assume la responsabilité du bon fonctionnement de l'ensemble.

11.2 Mise en service et calibrage

Après l'installation, tout nouveau système de ventilation doit subir une inspection complète qui vise à déterminer si le système fonctionne bien et si les paramètres de commande conviennent aux animaux logés dans les locaux. Un consultant en ventilation peut collaborer à la mise en service et au calibrage d'un nouveau système.

11.2.1 Vérification des capteurs de température

Température réelle

La température est le premier paramètre à surveiller, quel que soit le système de ventilation. On mesure la température ambiante réelle, afin de s'assurer que celle-ci demeure à l'intérieur de la fourchette de températures souhaitée. Les capteurs de température sont de petites thermistances recouvertes d'une gaine de plastique. Ils sont suspendus en l'air et sont reliés par des câbles électriques au régulateur de ventilation auquel ils acheminent un signal. La thermistance est très sensible à toute variation de la température, d'où la raison d'être de la gaine de plastique qui réduit l'intensité du signal pour éviter que les variations momentanées ou infimes de la température ne déstabilisent le régulateur. Une caractéristique standard des capteurs de température utilisés dans les systèmes de ventilation des bâtiments de ferme est une constante de temps de trois minutes. Cela signifie que chaque fois que le capteur est exposé à une variation donnée de la température, la thermistance perçoit au moins 90 % de la variation de température dans un délai de trois minutes. Ce retard favorise une plus grande stabilité de la température ambiante et permet une réponse graduelle de la ventilation.

Le calibrage des capteurs de température n'est pas toujours au point à la sortie de l'usine. Des pertes de signal surviennent en raison de la distance séparant le capteur et le régulateur, en raison aussi d'interférences électriques et de mauvaises connexions électriques. Vérifier chaque capteur à l'aide d'un thermomètre fiable pour s'assurer qu'il indique la température réelle de la pièce.

Dans les grands bâtiments d'élevage (d'une superficie généralement supérieure à 1500 pi^2), on utilise deux capteurs de température ou plus, de façon à faire une moyenne des lectures. Dans ces situations, les ventilateurs de circulation sont commandés à partir

de la moyenne des températures indiquées par tous les capteurs. Un seul capteur mal calibré peut faire en sorte que les ventilateurs se mettent en marche et s'arrêtent à des températures qui ne correspondent pas aux températures réelles.

Le marché regorge de thermomètres numériques de bonne qualité à affichage rapide qui permettent de faire ces vérifications de température. Un bon moyen de vérifier l'exactitude des capteurs consiste à suspendre un thermomètre à mercure bon marché à côté de chaque capteur. Garder les thermomètres propres et en vérifier périodiquement l'exactitude. Voici à cette fin un test facile à réaliser : plonger le thermomètre dans un bain moitié glace moitié eau qu'on a laissé reposer pendant une trentaine de minutes. S'il est précis, le thermomètre devrait donner une lecture de 0 °C (32 °F).

Lorsqu'un capteur de température donne des lectures s'écartant de 1-2 °C des températures réelles, ce qui arrive parfois, il faut remplacer le câblage ou même le capteur. L'exploitant peut aussi régler la température de consigne principale de manière à tenir compte de cet écart permanent. Les régulateurs électroniques de nouvelle génération comportent un dispositif de recalibrage incorporé qui corrige ce problème.

Emplacement des capteurs

Placer chaque capteur à un endroit où il pourra mesurer la température ambiante moyenne dans la zone où il se trouve. Éviter de les positionner sur la trajectoire directe de l'air frais provenant d'une entrée d'air ou de l'air chaud dégagé par un appareil de chauffage ou un appareil d'éclairage. Installer les capteurs à proximité des aires occupées par les animaux, mais hors de la portée de ces derniers; un capteur arraché ou déconnecté peut dérégler considérablement la ventilation (figures 11.1a et 11.1b).

Figure 11.1a Capteur de température trop proche des animaux

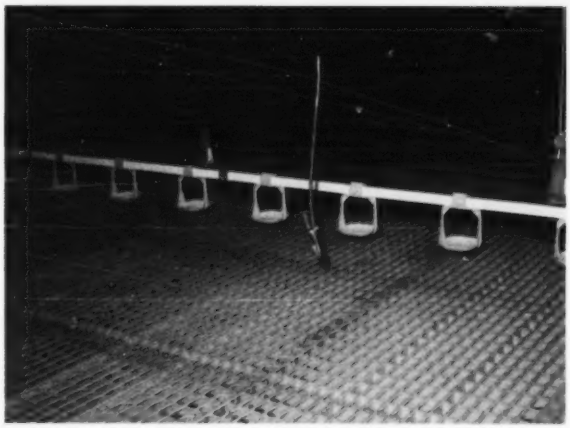


Figure 11.1b Capteur de température situé au-dessus des oiseaux sur la trajectoire prévue de l'air

Dans un bâtiment à ventilation naturelle, il peut arriver qu'un capteur de température soit exposé au rayonnement solaire, ce qui a pour effet d'exagérer les variations moyennes de la température et d'entraîner une ventilation excessive. Par conséquent, il faut

s'assurer qu'aucun capteur de température ne soit directement exposé au rayonnement solaire, ni d'ailleurs à l'énergie d'appareils de chauffage par rayonnement. On peut protéger les capteurs de température à l'aide de dispositifs de protection anti-rayonnement comme celui qui est illustré à la figure 11.1c.

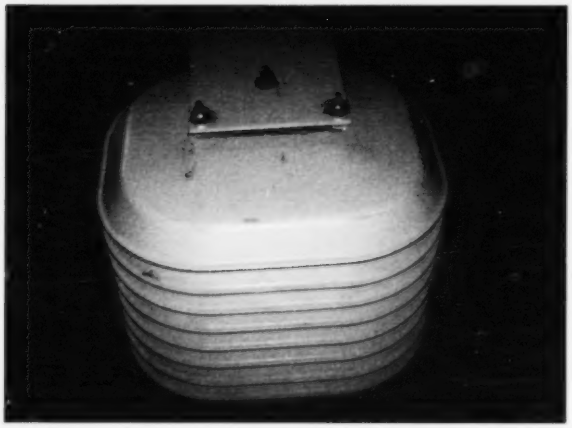


Figure 11.1c Capteur de température doté d'un dispositif de protection anti-rayonnement

11.2.2 Vérification des capteurs d'humidité

Humidité relative réelle

Si un capteur d'humidité a été installé dans le local, en vérifier la fiabilité à l'aide d'un hygromètre ou d'un psychromètre fronde classique, de manière à s'assurer que la surveillance de l'humidité relative est faite avec précision. On évite ainsi de recourir inutilement à la ventilation ou au chauffage pour corriger un taux d'humidité qui serait erroné.

Les capteurs d'humidité utilisés dans les installations d'élevage sont précis à ± 5 %, ce qui est considéré suffisant pour l'activation de la ventilation ou du chauffage dans le but d'assécher l'air. La fourchette des taux d'humidité relative recommandée pour la plupart des installations d'élevage est de 50 à 70 %. Si le local bénéficie d'une bonne circulation d'air et que la température y est plutôt uniforme, on n'observera pas d'écarts importants de l'humidité relative d'un point à l'autre du local. On utilise souvent un seul capteur d'humidité qu'on place à côté de l'un des capteurs de température (figure 11.2).

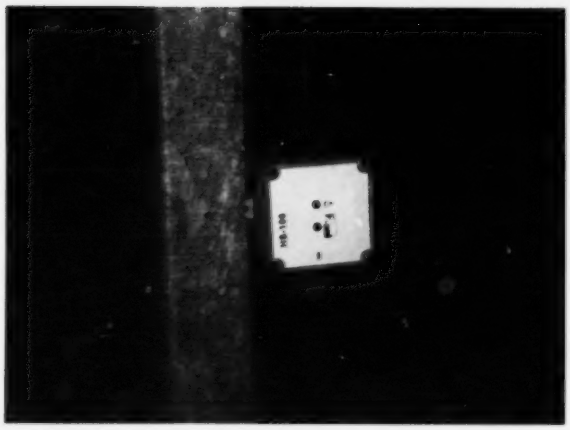


Figure 11.2 Capteur d'humidité fixé à un poteau de soutien dans un poulailler

11.2.3 Vérification des fonctions du régulateur de ventilation

Les régulateurs des systèmes de ventilation offrent un large éventail de fonctions de régulation. Le mode de fonctionnement varie considérablement, même pour deux modèles d'un même fabricant. Consulter le guide de l'utilisateur pour vérifier et programmer les différents paramètres. Une bonne stratégie de gestion consiste à garder le guide de l'utilisateur à proximité du régulateur, dans une enveloppe protectrice en plastique, afin de pouvoir s'y référer facilement.

Température réelle et réglage des températures

Vérifier la température réelle de la pièce à l'aide d'un thermomètre fiable et s'assurer que le régulateur de ventilation affiche cette même température ou, s'il s'agit d'un local de grandes dimensions, qu'il affiche la moyenne des températures enregistrées par l'ensemble des capteurs de température. Programmer les réglages de température dans le régulateur pour chacun des paliers de ventilation et chacun des paliers de chauffage. Ajuster les réglages d'alarme haute et basse températures selon le temps de l'année et l'espèce et la taille des animaux logés dans le bâtiment.

Humidité réelle et réglage de l'humidité

Tout comme on le fait pour la température, il faut vérifier le taux d'humidité relative de la pièce. On vérifie ensuite si le régulateur de ventilation affiche le même taux d'humidité que l'hygromètre. Reste ensuite à programmer dans le régulateur les fonctions de régulation de l'humidité commandant une ventilation accrue et/ou des cycles de chauffage.

Fonctionnement des ventilateurs

Vérifier le fonctionnement des ventilateurs en abaissant lentement la température de consigne principale par rapport à la température ambiante réelle. Observer les ventilateurs pour voir si chacun se met en marche selon la séquence des paliers de ventilation prévue. Quand la température de consigne principale a été abaissée de plus de 7 °C sous la température ambiante réelle, tous les ventilateurs d'extraction devraient être en marche. Une autre façon de procéder consiste à tenir le capteur de température dans le creux de la main de manière à transmettre au régulateur une température plus élevée qu'elle ne l'est en réalité, afin d'observer si les ventilateurs d'extraction se mettent en marche selon la séquence des paliers prévue. Certains régulateurs sont dotés d'un mode test qui simule une hausse de température et permet de vérifier, par l'observation de la séquence des paliers de ventilation, si le système a été programmé convenablement. Tout écart par rapport à la séquence prévue indique une erreur de programmation ou une défectuosité du ventilateur.

Fonctionnement du chauffage

Vérifier si le chauffage fonctionne bien en élevant la température de consigne principale de manière à faire démarrer le chauffage. Une fois celui-ci en marche, abaisser la température de consigne principale pour provoquer l'arrêt du chauffage. Si l'installation de chauffage continue de fonctionner, c'est qu'il y a un problème de réglage du régulateur ou de défectuosité de l'installation de chauffage.

Fonctionnement des entrées d'air

L'abaissement de la température de consigne principale permet aussi de vérifier si les ventilateurs d'extraction fonctionnent bien et si les entrées d'air s'ouvrent correctement. Une fois qu'elles sont grandes ouvertes, élever à nouveau la température de consigne et observer si les entrées d'air se referment. Le point le plus important à vérifier au sujet du fonctionnement des entrées d'air est de déterminer si leur largeur d'ouverture est la bonne à chaque palier de ventilation, de manière à s'assurer d'un bon schéma de circulation d'air qui n'engendre pas de courants d'air. Se reporter à la section *Réglages des entrées d'air* plus loin dans le présent chapitre.

Utiliser la même stratégie pour vérifier le fonctionnement des rideaux ou panneaux de ventilation naturelle.

11.2.4 Programmation des paramètres du régulateur de ventilation

Habituellement, les réglages sont déjà préprogrammés dans le régulateur de ventilation, de sorte que les vérifications qui précèdent indiquent toutes que le système fonctionne correctement. Toutefois, cela ne signifie pas que les réglages sont compatibles avec le type d'élevage ni avec la taille des animaux logés dans un local en particulier.

Certains fournisseurs de matériel de ventilation laissent le soin à l'exploitant de faire les réglages additionnels, ce dernier étant plus au fait des besoins de ses animaux. Laissé seul à lui-même, le producteur se retrouve toutefois avec un régulateur dont le fonctionnement ne lui est aucunement familier et qu'il imagine entièrement automatique. Inévitablement, il devra modifier les premiers réglages, que ce soit par suite d'un changement de saison ou au fur et à mesure que les animaux grossissent. Il est important pour lui d'étudier en détail le guide de l'utilisateur et de se familiariser avec le régulateur, afin d'apporter des changements aux réglages de départ et de programmer toutes les éventuelles fonctions facultatives.

Température de consigne principale

Il faut choisir une température de consigne principale proche de la température la plus basse qui soit acceptable pour le bétail ou la volaille élevé dans le bâtiment. Une baisse de un ou deux degrés sous cette valeur de référence provoquera le démarrage du

système de chauffage. À l'opposé, si la température du local s'élève au-dessus de la température de consigne principale, la ventilation sera renforcée pour freiner la hausse. Le programme du système de ventilation prévoit un certain nombre de paliers qui sont activés l'un après l'autre à mesure que la température monte, jusqu'à ce que les ventilateurs tournent à plein régime, quand la température a atteint le niveau maximal acceptable. Cette stratégie d'intervention normale est illustrée par l'exemple de la figure 11.3, qui porte sur un local d'engraissement-finition dans une porcherie.

Modifications automatiques de la température de consigne principale

Au fur et à mesure que les animaux grossissent, les températures correspondant à leur zone thermoneutre s'étendent et s'abaissent, ce qui oblige à abaisser la température de consigne. Certains régulateurs comportent une fonction d'abaissement quotidien de la température, mais la plupart ont une courbe de températures de consigne. La fonction d'abaissement quotidien de la température permet à l'utilisateur d'entrer une baisse de température spécifique (p. ex. 0,1 °C) afin de réduire la température de consigne par sauts quotidiens jusqu'à ce que la température minimale cible soit atteinte, après quoi celle-ci est maintenue. Une courbe de températures permet à l'utilisateur de programmer une série de températures de consigne correspondant à la durée de séjour des animaux dans les locaux. La température de consigne diminue tout au long de la courbe en fonction du nombre de jours écoulés ou du taux de croissance. Le tableau 11.1 indique une série de valeurs de la courbe de températures qui conviennent à un local d'engraissement-finition d'une porcherie. Le nombre de points de référence requis pour définir une courbe de températures varie de 5 à 10 selon le régulateur. Celui-ci abaisse automatiquement la température de consigne d'une manière linéaire au quotidien en respectant la courbe de températures.

Tableau 11.1 Valeurs de la courbe de températures de consigne pour le local d'engraissement-finition de la porcherie donnée en exemple

Point sur la courbe	1	2	3	4	5
Jour de croissance	1	5	20	40	85
Température de consigne	22,0 °C	22,0 °C	21,0 °C	20,0 °C	18,0 °C

La plupart des régulateurs font reposer toutes les autres fonctions liées à la température sur la différence de température relative par rapport à la température de consigne principale, soit la différence de température au-dessus ou au-dessous de la température de consigne principale quand un nouveau de palier de ventilation est activé (p. ex. +2,0 °C) ou quand le chauffage se met en marche (p. ex. -2,0 °C). Cette caractéristique donne de très bons résultats et chaque fois que la température de consigne principale est modifiée, tous les réglages liés à la température suivent automatiquement.

Réglages des ventilateurs d'extraction

Malgré des différences dans la façon dont chaque régulateur permet à l'exploitant de programmer les valeurs commandant le démarrage ou l'arrêt de chaque ventilateur ou de chaque palier de ventilation, tous les régulateurs interviennent à partir de la température de consigne principale. La figure 11.3 montre à quel moment les divers paliers des ventilateurs s'activent pour un local d'engraissement-finition d'une porcherie donnée en exemple et quels sont les réglages à faire pour automatiser le processus. La ventilation minimale (celle qui, sur la plupart des régulateurs, correspond à la ventilation de palier 1) fonctionne continuellement, indépendamment de la température, de manière à garantir un minimum de ventilation continue, sauf si elle est commandée par minuterie.

Vitesse minimale. Normalement, la ventilation de palier 1 est assurée par un ventilateur à vitesse variable qui permet de choisir la vitesse minimale absolue qui garantit que le ventilateur tourne à une vitesse suffisante pour faire ouvrir les volets intérieurs et procurer l'apport d'air minimal nécessaire au

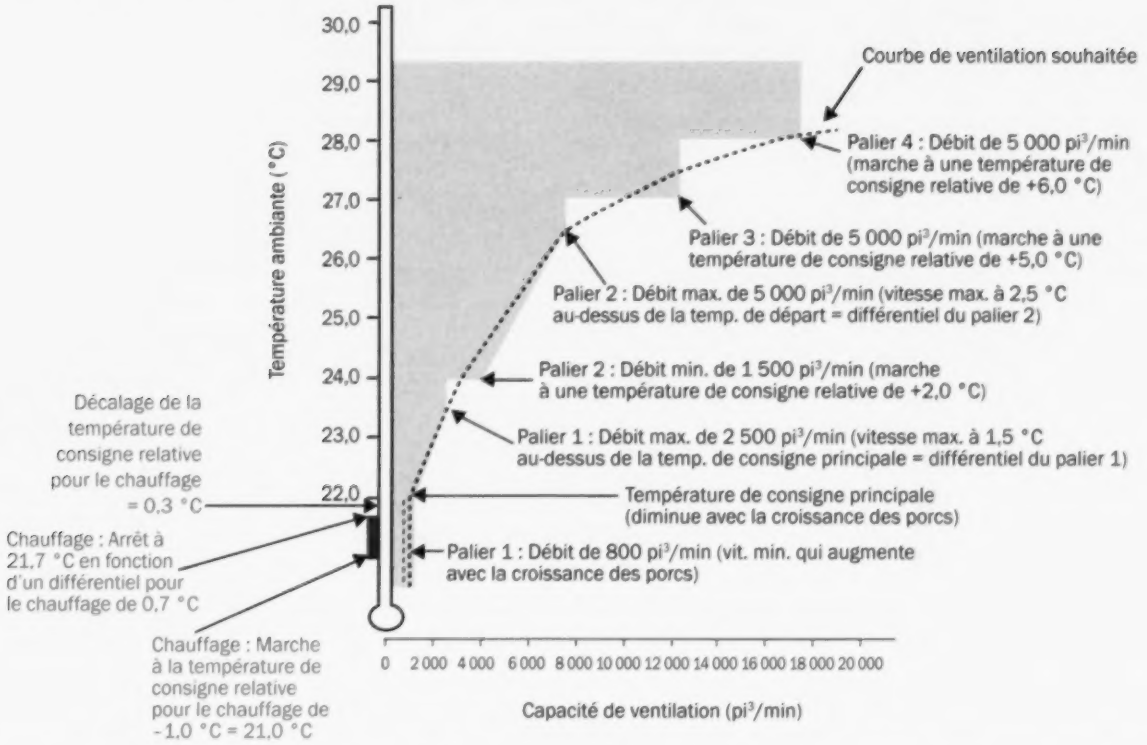


Figure 11.3 Stratégie de régulation de la ventilation dans un local d'engraissement-finition abritant 200 porcs nouvellement placés à 27 kg

refroidissement du moteur du ventilateur. Selon la capacité du ventilateur, le nombre d'animaux dans le local, leur gabarit et la période de l'année, le réglage de cette vitesse minimale peut nécessiter des ajustements périodiques. Comme ce ventilateur est responsable de chasser continuellement toute l'humidité produite par la respiration des animaux, sa vitesse ne peut jamais être réglée à la vitesse minimale absolue. Ce n'est que par un bon dimensionnement des ventilateurs que l'on peut s'assurer d'une vitesse minimale convenable pour la ventilation de palier 1. Pour la plupart des ventilateurs d'extraction à vitesse variable, la vitesse minimale n'est jamais réglée à moins de 30 %.

Minuterie. Si le ventilateur assurant la ventilation minimale est trop puissant, utiliser une minuterie qui le fait fonctionner de manière intermittente dès que la température ambiante tombe sous la température de consigne principale. Cette caractéristique exige de l'utilisateur qu'il programme une durée de cycle et un pourcentage de temps, à moins qu'il ne s'agisse d'un régulateur d'ancienne génération dans lequel une valeur fixe se trouve déjà incorporée. Par exemple, programmer un cycle de 5 minutes et une durée de fonctionnement de la ventilation minimale égale à 60 % de ce cycle (3 minutes) pour chaque éventualité où la température ambiante tombe en deçà de la température de consigne principale. Si des animaux sont dans le local, les périodes d'absence de ventilation ne devraient jamais dépasser 3 minutes afin d'éviter que la qualité de l'air ne pose problème. S'il n'est pas nécessaire de recourir à une minuterie, régler le temps de marche de manière à respecter le cycle ou programmer une durée de fonctionnement égale à 100 %, selon le régulateur, de manière à garantir que la ventilation de palier 1 fonctionne continuellement indépendamment de la température de la pièce.
La minuterie est utile pour assurer un taux de renouvellement d'air minimal quand le local est vide entre les bandes. En fournissant au moins 1 minute de renouvellement d'air toutes les 10 minutes, on évite que les gaz des fumier et l'humidité n'atteignent des concentrations nocives.

Différentiel de température pour le palier 1. Une valeur d'augmentation de la température relative par rapport à la température de consigne est nécessaire pour indiquer aux ventilateurs de palier 1 quand tourner à pleine vitesse. Cette valeur est habituellement de 1,0-1,5 °C, mais elle peut être plus grande si la pièce est petite et ne comporte que deux paliers de ventilation à vitesse variable pour répondre aux besoins de ventilation à longueur d'année.

Numéro de courbe de moteur pour le ventilateur 1. Les fabricants de régulateurs utilisent souvent des numéros de courbes caractérisant le rendement des moteurs sous diverses conditions de courant/tension, afin de s'assurer que les moteurs des ventilateurs à vitesse variable de leurs clients présenteront une accélération raisonnablement linéaire tout au long de leur courbe de montée en puissance lorsqu'il seront utilisés avec un de leurs régulateurs. Le guide de l'utilisateur qui accompagne les régulateurs de ventilation comprend un tableau des moteurs avec le numéro de courbe des moteurs recommandés pour utilisation avec leur système. La figure 11.4 représente la réaction réelle d'un ventilateur de 24 po de diamètre à deux courbes de moteur ainsi que la droite représentant la performance linéaire idéale du ventilateur. Dans cet exemple, la courbe de moteur 5 serait le meilleur choix étant donné qu'elle procure une augmentation plus linéaire du débit en fonction de l'augmentation de la vitesse que la courbe de moteur 6.

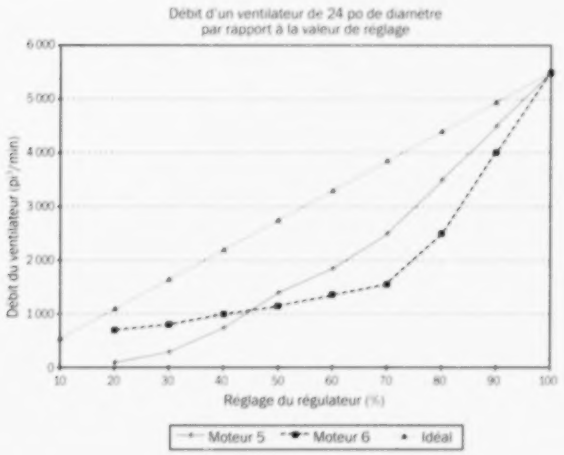


Figure 11.4 Comparaison de deux courbes de moteur à la performance idéale d'un ventilateur de 24 po de diamètre

Température de consigne relative du palier 2. Quand le ventilateur de palier 1 tourne à pleine vitesse et que la température ambiante continue de grimper, activer la ventilation de palier 2. Laisser la température s'élever encore un peu plus avant d'activer le ventilateur de palier 2 pour déterminer si le ventilateur de palier 1 procure une ventilation satisfaisante avant d'engager la dépense d'électricité associée à un renforcement de la ventilation qui risquerait d'abaisser la température trop rapidement. Si le différentiel pour la ventilation de palier 1 est de 1,5 °C, la température de consigne relative du palier 2 est de 1,8 ou 2,0 °C au-dessus de la température de consigne principale. Ce petit écart de température (de 0,3 à 0,5 °C) constitue ce qu'on appelle un décalage de température ou une zone d'insensibilité entre deux paliers.

Vitesse minimale du palier 2. Si le ventilateur de palier 2 est un appareil à vitesse variable, régler sa vitesse minimale quelque part entre 30 et 40 % selon la puissance du ventilateur et sa capacité à faire ouvrir les volets intérieurs.

Différentiel de température pour le palier 2. Ce palier de ventilation intervient les jours doux de l'hiver et/ou lors de certaines conditions printanières et automnales lorsqu'on observe des écarts de température assez importants entre la mi-journée et le milieu de la nuit. Le différentiel pour le ventilateur de palier 2 est donc un peu plus étendu, particulièrement si le local est petit et qu'il est doté de seulement deux ou trois ventilateurs au total. Si le différentiel est de 2,0 °C et que la température de consigne relative est fixée à 2,0 °C au-dessus de la température de consigne principale, le ventilateur de palier 2 continuerait de fonctionner à sa vitesse minimale tant que la température ne grimperait pas à 4,0 °C de plus que la température de consigne principale.

Numéro de courbe de moteur pour le ventilateur 2. Dans la mesure où ce ventilateur est à vitesse variable, choisir un numéro de courbe de moteur approprié.

Température de consigne relative du palier 3. Comme pour les paliers précédents, il s'agit de prévoir une zone d'insensibilité qui laisse la température ambiante s'élever un peu plus avant le déclenchement

de la ventilation du palier suivant. Cette zone d'insensibilité permet d'économiser l'énergie et de réduire les variations de température ambiante qui peuvent être une source de stress pour les animaux. En fonction des réglages mentionnés plus haut, la température de consigne relative pour le palier 3 pourrait être ici de 4,5 ou de 5,0 °C.

Températures de consigne relatives des paliers 4 et suivants. La même stratégie peut être employée pour les paliers de ventilation suivants jusqu'à ce que tous les ventilateurs aient été programmés. Le différentiel de température total pour l'ensemble des ventilateurs entre la ventilation minimale d'hiver et la ventilation maximale d'été correspond à une fourchette de 6-7 °C. Une fois que la température ambiante monte à 7 °C au-dessus de la température de consigne principale, tous les ventilateurs d'extraction sont en marche.

Hystérésis. L'hystérésis est une valeur de réglage utilisée pour maintenir les ventilateurs ou appareils de chauffage en marche pendant un délai raisonnable et éviter qu'ils ne soient mis en marche et arrêtés trop rapidement. Par exemple, dans le cas d'un ventilateur d'extraction qui se met en marche à 21 °C, si l'hystérésis est réglée à 0,5 °C, le ventilateur ne s'éteindra pas tant que la température ne sera pas descendue à 20,5 °C. Les régulateurs électroniques autorisent des valeurs d'hystérésis différentes pour le chauffage et la ventilation. Plutôt que de se limiter à une seule valeur, certains régulateurs permettent de fixer les températures de départ et d'arrêt de chaque palier de chauffage et de ventilation.

Réglages du chauffage

Si la température de la pièce descend à quelques degrés sous la température de consigne principale, on a recours au chauffage d'appoint pour empêcher la température de baisser davantage et éviter de soumettre les animaux à un refroidissement. La figure 11.3 présente les valeurs dont on a besoin pour régler le chauffage. S'assurer que les réglages du chauffage programmés dans le régulateur garantissent bien la mise en marche de l'installation de chauffage par suite d'une baisse de température sous la température de consigne principale et son arrêt toute de suite avant que la température atteigne la température de consigne principale. Étant donné que l'installation de chauffage est conçue pour remédier aux froids hivernaux, elle est trop puissante pour le reste de la saison de chauffe. Sa mise en marche occasionne donc un apport d'énergie thermique un peu trop grand. Il n'est pas souhaitable que les ventilateurs de palier 1 s'empressent alors à extraire trop rapidement la chaleur excédentaire fournie. Il faut s'assurer que l'installation de chauffage joue son rôle sans occasionner de gaspillage d'énergie.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : S'assurer que les réglages de l'installation de chauffage qui sont programmés dans le régulateur garantissent bien la mise en marche de l'installation de chauffage par suite d'une baisse de température sous la température de consigne principale et son arrêt tout de suite avant que la température atteigne la température de consigne principale. On s'assure ainsi que l'installation de chauffage joue son rôle sans occasionner de gaspillage d'énergie.

Certaines chaufferettes de chantier comportent une soupape de réglage de l'alimentation en gaz qui permet de réduire jusqu'à 50 % l'énergie thermique dégagée et ainsi de mieux répondre aux conditions printanières et automnales. La figure 11.5 présente un exemple d'une telle soupape.

Figure 11.5 Soupape de réglage de l'alimentation en gaz d'un appareil de chauffage au gaz

Nota : Une rotation de 90 degrés de la soupape bleue permet de réduire jusqu'à 50 % l'énergie thermique dégagée.

Température de consigne relative pour le chauffage. Activer le système de chauffage à 1,0 ou 1,5 °C sous la température de consigne principale de manière à rétablir la température ambiante minimale pour les animaux.

Différentiel de température pour le chauffage. La plupart des régulateurs utilisent un différentiel de température pour le chauffage qui indique l'élévation de température que l'appareil de chauffage doit procurer avant de s'éteindre. Par exemple, si la température de consigne relative pour l'appareil de chauffage est de 1,5 °C sous la température de consigne principale et que le différentiel de température pour le chauffage est réglé à 1,0 °C, c'est dire qu'après l'enclenchement du chauffage, celui s'arrêtera une fois que la température sera rendue à 0,5 °C sous la température de consigne principale.

Décalage ou zone d'insensibilité d'un appareil de chauffage. Au lieu de programmer une température de consigne relative pour l'appareil de chauffage, certains régulateurs obligent l'utilisateur à entrer un décalage de la température de consigne relative pour le chauffage, c.-à-d. une valeur qui correspond à l'écart entre la température de consigne principale et la température provoquant le l'arrêt de l'appareil de chauffage. Le chauffage se met alors en marche une fois que la température ambiante descend d'une valeur égale à la somme du décalage et du différentiel de température pour le chauffage. Pour réaliser la même stratégie que celle qui a été expliquée plus haut relativement au fonctionnement du chauffage, on réglerait le décalage pour le chauffage à -0,5 °C et le différentiel de température pour le chauffage à 1,0 °C. Ainsi, l'appareil de chauffage se mettrait en marche et s'arrêterait à 1,5 °C et à 0,5 °C respectivement sous la température de consigne principale.

Réglages des entrées d'air

La majorité des entrées d'air sont actionnées par un actionneur à câbles, lui-même commandé par le régulateur de ventilation soit directement, soit à l'aide d'un module de commande distinct. Même s'il se trouve encore des orifices d'aération commandés par un régulateur à pression statique autonome ou des entrées d'air auto-équilibrées, la plupart sont commandées en fonction de la température ambiante, laquelle est en lien direct avec le nombre de renouvellements d'air autorisés. À chaque palier de ventilation, il importe que la largeur d'ouverture des entrées d'air soit la bonne si l'on veut que se créée un bon schéma de circulation d'air et une circulation d'air uniforme dans le local. On doit établir un pourcentage d'ouverture des entrées d'air pour chaque palier de ventilation.

Pour ce faire, on se sert d'un manomètre de pression statique et on procède à un essai intérieur à la fumée pour s'assurer que le schéma de circulation d'air est bon. Par temps froid, lorsque le taux de renouvellement d'air est faible, la pression statique doit se situer dans la fourchette de 0,06-0,08 po CE (1,5-2,0 mm). Par temps doux, lorsque le taux de renouvellement d'air est élevé, elle se situera dans la fourchette de 0,04-0,06 po CE (1,0-1,5 mm). Selon la période de l'année où se fait la mise en service, les valeurs de pression statique peuvent varier légèrement, de sorte qu'il faut toujours vérifier les pourcentages d'ouverture au moyen d'un test de fumée réalisé à chaque saison et apporter les modifications nécessaires.

La meilleure méthode pour calibrer les entrées d'air est de procéder au test de fumée et à la lecture du manomètre de pression statique pour régler chaque palier de ventilation. Il est possible d'évaluer l'ouverture nécessaire (par des calculs mathématiques) à partir de la capacité des ventilateurs et de la vitesse d'admission de l'air nécessaire pour obtenir le schéma de circulation d'air souhaité. Ce qui complique cette méthode, particulièrement lorsque les débits d'air sont faibles, c'est le fait que la plupart des locaux ne sont pas complètement étanches à l'air et qu'un peu d'air finit toujours par pénétrer dans le bâtiment par d'autres ouvertures que les entrées d'air. Le tableau 11.2 présente un résumé des calculs mathématiques à faire, à l'aide d'un exemple portant sur un local comprenant 40 pi (12 m) d'entrée d'air, deux ventilateurs à vitesse variable et un ventilateur à vitesse unique utilisé l'été.

Tableau 11.2 Estimation mathématique de l'ouverture des entrées d'air dans un local abritant du bétail, à divers paliers de ventilation

Palier de ventilation	Capacité de ventilation estimative	Vitesse d'admission de l'air estimative	Ouverture estimative des entrées d'air[a]	
			(po)[b]	(%)[c]
Ventil. min. de palier 1	500 pi³/min	1 000 pi/min	0,15	2 %
Ventil. max. de palier 1	1 500 pi³/min	900 pi/min	0,50	6 %
Ventil. min. de palier 2	2 500 pi³/min	800 pi/min	0,90	11 %
Ventil. max. de palier 2	4 500 pi³/min	700 pi/min	1,90	24 %
Palier 3	8 500 pi³/min	600 pi/min	4,25	53 %

[a]Pour une entrée d'air d'une longueur totale de 40 pi.
[b]Calculée comme suit : 500 pi³/min ÷ 1 000 pi/min ÷ 40 pi de long x 12 po/pi.
[c]L'ouverture maximale de l'entrée d'air (100 %) est de 8 po.

Calibrage de l'actionneur d'entrée d'air. La façon de calibrer la complète ouverture et la complète fermeture des entrées d'air est différente pour chaque régulateur. La première étape dans la programmation du régulateur de ventilation est d'enregistrer les positions de complète ouverture et de complète fermeture dans l'actionneur. L'exploitant entre ensuite le pourcentage d'ouverture approprié pour chaque palier de ventilation, celui-ci se situant entre les réglages d'ouverture minimale et maximale.

Position des entrées d'air pour la ventilation minimale de palier 1. Quand les ventilateurs de palier 1 fonctionnent à leur vitesse minimale et que les entrées d'air sont complètement fermées (0 % d'ouverture), mesurer la pression statique dans le local et vérifier s'il y a des fuites d'air le long de chaque entrée d'air. S'il y a des fuites d'air appréciables et qu'il se créée dans le local un schéma de circulation de l'air satisfaisant même si la lecture de pression statique n'est pas normale, il se peut que ce réglage convienne à la ventilation minimale de palier 1. Toutefois, si la pression statique est excessive et/ou que le débit d'air est trop rapide ou quasi-inexistant, ouvrir les entrées d'air de 1 à 2 % de manière à obtenir une bon schéma de circulation de l'air.

Position des entrées d'air pour la ventilation maximale de palier 1. Quand les ventilateurs de palier 1 fonctionnent à pleine vitesse, régler l'ouverture des entrées d'air jusqu'à ce que le schéma de circulation de l'air et la pression statique conviennent à la disposition des enclos. Un test à la fumée permet d'identifier rapidement tout problème d'écoulement de l'air (débit trop lent, mélange insuffisant de l'air transversalement, débit trop rapide créant d'éventuels courants d'air ou circulation d'air entravée, par exemple). La lecture de la pression statique vérifie si la vitesse d'admission de l'air correspond à une fourchette correcte ou non.

À l'aide de ces deux réglages de référence, le régulateur de ventilation peut commander à l'actionneur d'ouvrir les entrées d'air proportionnellement entre ces valeurs au fur et à mesure que le ventilateur de palier 1 augmente sa vitesse, en allant de la vitesse minimale à la vitesse maximale et vice versa.

Position des entrées d'air pour la ventilation minimale et maximale de palier 2. On procède de la même façon pour chaque palier de ventilation afin de déterminer le pourcentage d'ouverture permettant d'obtenir le taux de renouvellement d'air souhaité. Pour les ventilateurs à vitesse variable, il faut établir une position de référence à la fois pour la vitesse minimale et pour la vitesse maximale.

Position des entrées d'air pour la ventilation des paliers 3, 4, 5, etc. Une valeur doit être établie comme pourcentage d'ouverture des entrées d'air à chacun des paliers de ventilation jusqu'à la ventilation estivale maximale. Si le système de ventilation est correctement conçu et installé, il devrait y avoir une capacité d'admission de l'air suffisante sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir à 100 % les entrées d'air pour obtenir le schéma de circulation de l'air souhaité et un bon débit d'air dans les zones occupées par les animaux.

Réglages des entrées d'air à l'aide d'un régulateur de pression statique automatique autonome ou intégré. Si une entrée d'air est commandée exclusivement par un régulateur de pression statique automatique autonome ou intégré plutôt que par température au moyen du régulateur de ventilation principal, s'assurer que le capteur de pression statique effectue une lecture exacte (il doit indiquer 0 lorsqu'il n'y a aucune circulation d'air). Régler les limites de pression statique inférieures et supérieures, au delà desquelles l'actionneur des entrées d'air ouvre et ferme les entrées d'air, afin d'atteindre un schéma de circulation d'air constant. Les entrées d'air s'ouvrent si la pression statique dépasse la limite supérieure et se ferme si la pression statique tombe sous la limite inférieure fixée. Il est habituellement nécessaire de réduire les limites de pression statique acceptables par temps doux.

11.2.5 Autres réglages du régulateur

Réglages de l'humidité

Si on installe et utilise un capteur d'humidité pour empêcher le local de devenir trop humide, on doit choisir un taux d'humidité de référence au delà duquel le taux de renouvellement d'air minimal sera augmenté d'un pourcentage précis. Ce pourcentage correspond à une augmentation de la vitesse minimale du ventilateur d'extraction de palier 1 qui vise à maîtriser l'humidité. Par exemple, si on choisit pour le local un taux d'humidité de référence de 65 % et qu'on programme un accroissement de 10 % de la vitesse du ventilateur pour maîtriser l'humidité, chaque fois que le taux d'humidité ambiant dépassera 65 %, le ventilateur d'extraction assurant la ventilation minimale verra sa vitesse augmenter de 10 %, indépendamment de la température ambiante, de façon à chasser l'humidité.

Certaines régulateurs permettent que le système de chauffage soit activé chaque fois que l'air devient trop humide. Dans leur cas, contribuer à assécher l'air, on programme dans le régulateur une durée de marche et une durée de cycle applicables à l'appareil de chauffage.

Si le local est doté d'un système de refroidissement par évaporation commandé par le régulateur du système de ventilation, programmer un taux d'humidité limite élevé afin d'empêcher le système de refroidissement de se mettre en marche si la pièce devient trop humide. Il est recommandé de ne jamais laisser le taux d'humidité relative dépasser 80 %. Certains régulateurs permettent l'intervention d'un système de brumisation pour corriger un taux d'humidité trop faible dans la pièce. Il faut alors programmer une limite inférieure pour le taux d'humidité ainsi qu'une durée de marche et une durée de cycle applicables au brumisateur.

Courbe des vitesses minimales pour la ventilation de palier 1

Au fur et à mesure de leur croissance, les animaux produisent de plus en plus d'humidité, de sorte que pour maintenir le taux d'humidité relative à l'intérieur d'une fourchette acceptable (55-70 %), il faut augmenter le niveau de la ventilation minimale. Dans de nombreux régulateurs, une courbe de vitesses minimales est programmée de manière à faire augmenter automatiquement la vitesse minimale de fonctionnement des ventilateurs de palier 1 en fonction du jour de croissance ou du nombre de jours depuis l'arrivée des animaux. La plupart des courbes exigent entre cinq et dix points de référence pour toute la durée de séjour des animaux dans le local et un pourcentage correspondant à la vitesse minimale des ventilateurs pour chaque jour de référence. Le régulateur commande automatiquement au quotidien une augmentation de la vitesse minimale des ventilateurs de palier 1 d'une manière linéaire, afin de suivre la courbe des vitesses minimales. Le tableau 11.3 donne un exemple d'une courbe de vitesses minimales pour le local d'engraissement-finition d'une porcherie.

Tableau 11.3 Exemple de valeurs d'une courbe de vitesses minimales pour le local d'engraissement-finition d'une porcherie

Point sur la courbe	1	2	3	4	5
Jour de croissance	1	5	20	40	85
Vitesse minimale, ventilateurs de palier 1	40 %	40 %	44 %	50 %	60 %

Les jours de référence utilisés pour la courbe des vitesses minimales sont choisis de manière à correspondre à ceux qui ont été utilisés pour la courbe des températures de consigne principales, ce qui, sur certains régulateurs, est obligatoire.

Réglages d'un système de ventilation longitudinale

Bien des régulateurs peuvent, pendant la période estivale, passer d'une ventilation transversale à une ventilation longitudinale. Lorsque tel est le cas, on relie habituellement deux ou trois des paliers de ventilation les plus élevés aux ventilateurs assurant la ventilation en tunnel (ou longitudinale) qui sont activés en séquence en fonction des points de réglage de la température relative. L'activation du premier palier de la ventilation longitudinale entraîne l'ouverture du panneau de prise d'air de la ventilation longitudinale. Dans certains cas, les panneaux de prise d'air s'ouvrent progressivement à mesure que s'enclenchent les différents paliers de ventilation longitudinale, tandis que dans d'autres cas, ils s'ouvriront tous complètement d'un seul coup dès l'enclenchement du premier palier de la ventilation longitudinale. Une fois que le premier palier de la ventilation longitudinale est enclenché, le régulateur est normalement programmé pour éteindre une partie ou la totalité des ventilateurs des murs latéraux et pour fermer les prises d'air assurant la ventilation transversale.

À partir du moment où la température ambiante s'est suffisamment abaissée, le régulateur réduit la ventilation longitudinale et redémarre automatiquement la ventilation transversale.

Réglages du système de refroidissement par évaporation

Certains régulateurs de systèmes de ventilation possèdent une fonction facultative de réglage d'un système de refroidissement qui fait démarrer le système à une température d'activation du système de refroidissement précise et qui l'éteint à une température d'arrêt du refroidissement précise. Lors de chaque activation, le système de refroidissement fonctionne pendant une durée précise, puis s'arrête pendant une durée précise, à moins qu'une température d'arrêt du refroidissement ait priorité. Certains régulateurs offrent plusieurs paliers de refroidissement, ce qui permet de faire fonctionner le système de refroidissement plus longtemps lorsque la température s'élève dans le local.

Réglages des alarmes

Tous les régulateurs électroniques de ventilation possèdent une fonction d'alarme haute et basse températures reliée à un avertisseur sonore ou lumineux ou à un dispositif de composition téléphonique. L'utilisateur est à même de programmer des réglages de température relative situés à la fois au-dessus et en-dessous de la température de consigne principale, réglages qui déclenchent une alarme. Même si le régulateur n'est pas relié à un dispositif d'alarme externe, il avertit quand même l'utilisateur au moyen d'un voyant lumineux ou d'un écran d'affichage. Régler ces valeurs en fonction de la sensibilité des animaux et de la période de l'année afin d'éviter que l'alarme ne se déclenche inutilement et ne devienne un irritant. La valeur de réglage de l'alarme basse température est facile à établir à un degré ou deux sous la température de consigne relative pour le chauffage. Régler l'alarme haute température en fonction de la saison de sorte qu'elle soit utile et valide.

Il est recommandé de doter les bâtiments d'élevage d'un système d'alarme indépendant distinct pour la température et les pannes d'électricité. Dans un élevage, un bâtiment ou pour du matériel de grande valeur, il ne faut pas se fier uniquement à la fonction d'alarme du régulateur de ventilation.

11.3 Tableau des procédures normales d'exploitation

Une fois que les régulateurs sont entièrement programmés, préparer un tableau des procédures normales d'exploitation, comme celui qui est illustré au tableau 11.4. Bien des producteurs font laminer ce tableau et le suspendent à proximité des régulateurs afin de pouvoir s'y référer rapidement. Ce tableau donne un bref aperçu de tous les réglages sans entrer dans le détail de chacun, de manière à repérer celui qui présente un intérêt. Il fournit également un aide-mémoire utile dans l'éventualité où des valeurs seraient modifiées par erreur ou accidentellement. Au fur et à mesure que les animaux grossissent ou que les conditions climatiques changent, il permet de plus à l'exploitant de vérifier si certains réglages ont besoin d'être modifiés. Certains tableaux présentent des séries de valeurs qui correspondent aux différents stades de croissance des animaux et aux différentes saisons de l'année.

Tableau 11.4 Exemple de tableau des procédures normales d'exploitation relatif à un régulateur

Paramètre de surveillance		Réglages		Description du matériel
		Ancien	Nouveau	
Température de consigne principale				
Palier 1	Vitesse minimale			
	Durée du cycle			
	Minuterie – Marche (%)			
	Différentiel			
	Courbe de moteur			
	Taux d'humidité max.			
	Augmentation de la vitesse pour chasser l'humidité			
Palier 2	Température de consigne relative			
	Vitesse minimale			
	Différentiel			
	Courbe de moteur			
Palier 3	Température de consigne relative			
Palier 4	Température de consigne relative			
Chauffage	Température de consigne relative			
	Différentiel de température pour le chauffage			
Entrées d'air	Position pour la ventil. min. de palier 1			
	Position pour la ventil. max. de palier 1			
	Position pour la ventil. min. de palier 2			
	Position pour la ventil. max. de palier 2			
	Position pour la ventil. de palier 3			
	Position pour la ventil. de palier 4			
Alarmes	Basse température relative			
	Haute température relative			

Réduire la température de consigne principale au fur et à mesure de la croissance des animaux. Utiliser une courbe de températures si cette possibilité est offerte.
Augmenter la vitesse minimale des ventilateurs de palier 1 au fur et à mesure que les animaux grossissent et produisent davantage d'humidité. Utiliser une courbe des vitesses minimales des ventilateurs si cette possibilité est offerte.
Activer la ventilation de palier 2 à au moins 0,3 °C au-dessus de la température maximale du palier 1. Ce léger décalage de température correspond à la zone d'insensibilité recommandée entre deux paliers de ventilation.
Commander l'arrêt de l'appareil de chauffage à au moins 0,3 °C sous la température de consigne principale, afin d'empêcher la température ambiante de dépasser la température de consigne principale, ce qui obligerait à extraire tout de suite après l'énergie thermique excédentaire.

11.4 Réglages du régulateur de ventilation naturelle

La plupart des régulateurs de base qui commandent les panneaux ou rideaux assurant la ventilation naturelle utilisent une température de consigne principale et un léger différentiel de température pour définir la fourchette de températures de base dans le local. Par exemple, si la température de consigne est de 22 °C et que le différentiel est de 0,5 °C, le régulateur vise une température intérieure oscillant entre 21,5 et 22,5 °C. Si la température du local dépasse la limite de 22,5 °C, l'actionneur mécanique des rideaux interviendra et ouvrira ceux-ci pendant une durée déterminée d'avance, de façon à laisser entrer de l'air frais. La durée d'ouverture pourra varier de 5 à 20 secondes selon la période de l'année et le déplacement maximal du câble de l'actionneur. Par temps froid, le déplacement des rideaux ne devrait pas dépasser 0,4 po (10 mm); autrement, on risque de laisser entrer une trop grande masse d'air froid et d'exposer ainsi les animaux à un refroidissement brusque. Par temps doux, les déplacements des rideaux sont normalement d'environ 1,5 po (38 mm).

La ventilation naturelle assure un déplacement de l'air qui est plutôt lent. Un temps d'arrêt est programmé qui empêche tout mouvement des rideaux ou des panneaux le temps que les capteurs de température s'adaptent aux nouvelles conditions ambiantes. Ce temps d'arrêt varie de 2 à 3 minutes, le laps de temps le plus court étant surtout utilisé pendant la saison froide et le laps de temps le plus long, pendant la belle saison.

Dans le présent exemple, si la température ambiante descend sous le seuil de 21,5 °C, l'actionneur commande la fermeture des rideaux ou panneaux, de manière à réduire les ouvertures et à freiner la pénétration du froid. Le temps de fermeture est fixé à une valeur de 30 % supérieure au temps d'ouverture, ce qui réduit la durée d'exposition au froid et la durée ainsi que le nombre des épisodes de fermeture complète. À titre d'exemple, si le temps d'ouverture était de 6 secondes, le temps de fermeture serait fixé à 8 secondes.

Comme c'est le cas pour tous les bâtiments dotés d'un régulateur de ventilation, une baisse progressive de la température ambiante fera démarrer le chauffage, de façon à éviter un refroidissement excessif affectant les animaux sensibles. L'appareil de chauffage sera mis en marche à une température inférieure à la température de consigne principale et s'arrêtera une fois que la température ambiante se sera relevée jusqu'à combler le différentiel de température assigné au système. Par exemple, étant donné une température de consigne relative pour le chauffage de -1,5 °C, un différentiel de température de 1,0 °C et une température de consigne principale de 22,0 °C, on verra le système de chauffage démarrer à 20,5 °C et s'arrêter à 21,5 °C.

Certains régulateurs de ventilation gèrent le chauffage en fonction d'un décalage de la température de consigne relative pour le chauffage et d'un différentiel de température pour le chauffage, plutôt qu'à partir d'une température de consigne relative pour le chauffage. Cette stratégie assure la mise en marche du chauffage dès que l'abaissement de température correspond à la somme du décalage et du différentiel de température, et son arrêt une fois que la température ambiante a remonté et comblé le différentiel et le décalage de la température relative. Le décalage de la température de consigne relative pour le chauffage étant de -0,5 °C et le différentiel de température pour le chauffage, de 1,0 °C, la chauffage démarre et s'arrête lorsque la température ambiante est respectivement à 1,5 °C et à 0,5 °C sous la température de consigne principale.

Le tableau 11.5 présente le résumé des paramètres de fonctionnement d'un régulateur principal de ventilation naturelle, pour l'hiver et pour l'été, dans une porcherie d'engraissement. Selon le type et le gabarit des animaux logés dans cette porcherie, les réglages peuvent nécessiter certains ajustements.

Tableau 11.5 Exemple de valeurs de programmation d'un régulateur de ventilation naturelle installé dans une porcherie d'engraissement

Paramètres de ventilation	Temps froid	Temps doux
Température de consigne principale	22,0 °C	24,0 °C
Différentiel de température ambiante	± 0,5 °C	± 1,5 °C
Temps d'ouverture des rideaux	6 sec	25 sec
Temps de fermeture des rideaux	8 sec	33 sec
Temps d'arrêt du système	120 sec	180 sec
Température de consigne relative pour le chauffage	-1,5 °C	s.o.
Différentiel de température pour le chauffage	1,0 °C	s.o.

La formule n'est pas très répandue, mais quelques modèles de régulateurs de ventilation naturelle gèrent l'ouverture des panneaux ou rideaux de ventilation en fonction d'un différentiel thermique préétabli. Dans ce système, on fixe les degrés ou niveaux d'ouverture des panneaux qui correspondent à la ventilation minimale et maximale du bâtiment, puis on définit par programme le différentiel de température qui fera varier linéairement le degré d'ouverture des panneaux entre ces deux extrêmes. Par exemple, on peut fixer l'ouverture minimale des panneaux à 2 % lorsque la température ambiante du local est au point de consigne principal, puis relever ce pourcentage de façon linéaire jusqu'à 100 % au moment où la température aura comblé un différentiel donné (p. ex. 6 ou 7 °C). Les rideaux ou panneaux se fermeront complètement dès que la température ambiante aura chuté sous la température de consigne principale. Dans ce type de régulateur comme dans tous les autres, il faudra ajuster certains réglages et différentiels selon la période de l'année et selon l'espèce et la taille des animaux élevés dans le bâtiment.

11.5 Réglages du régulateur de ventilation mixte

Un certain nombre de fournisseurs offrent des régulateurs électroniques conçus spécifiquement pour faire fonctionner des systèmes de ventilation mixte. Ces régulateurs commandent un système reposant sur un ventilateur classique et des entrées d'air durant les trois saisons les plus froides, puis commandent un système de ventilation naturelle pendant la belle saison. Le régulateur combine les commandes nécessaires aux deux systèmes, de sorte que ceux-ci soient reliés et que la transition entre les deux puisse se faire automatiquement chaque fois qu'il le faut, sans intervention de l'exploitant.

Le fonctionnement de ces régulateurs repose, comme pour tous les autres, sur la température. Un accroissement de la température ambiante déclenche automatiquement les paliers de ventilation successifs, puis, en remplacement de ventilateurs supplémentaires, déclenche l'ouverture progressive des panneaux de ventilation naturelle dans les murs latéraux. Le régulateur règle l'ouverture des entrées d'air au plafond en fonction du palier de ventilation qui a été activé. Une fois que les rideaux commencent à s'ouvrir, le régulateur commande la fermeture automatique des ventilateurs d'extraction et la fermeture des entrées d'air au plafond. La plupart de ces régulateurs commandent aussi un système de refroidissement à l'eau dont le fonctionnement repose à la fois sur la température et une durée de fonctionnement.

Quand la température ambiante baisse, les panneaux ou rideaux réglant la ventilation naturelle commencent à se fermer à une température précise tout juste supérieure à la température de réglage des ventilateurs de palier 3. Ils continuent à se refermer à un rythme programmé par minuterie si la température ambiante reste inférieure à la température de fermeture précisée. Une fois que le rideau est presque fermé, les ventilateurs d'extraction se remettent progressivement en marche palier par palier en fonction des températures de réglage programmées. Si la température de la pièce tombe sous le point de consigne principal, un système de chauffage d'appoint se met en marche à une température donnée.

Table des matières

12. Maintenance et diagnostic d'anomalies .. 261

12.1 Introduction 261
12.2 Maintenance 261
12.2.1 Ventilateurs 261
12.2.2 Entrées d'air 262
12.2.3 Appareils de chauffage 264
12.2.4 Régulateurs des systèmes de ventilation 265
12.2.5 Entretien général du bâtiment 267
12.3 Diagnostic d'anomalies 267
12.4 Entrée dans le bâtiment 268
12.5 Problèmes d'odeurs 268
12.5.1 Mesure des concentrations de gaz 270
12.6 Problèmes de température 271
12.6.1 Mesure des températures 272
12.7 Problèmes d'humidité relative 273
12.7.1 Mesure de l'humidité relative 274
12.8 Problèmes de circulation de l'air 275
12.8.1 Mesure du débit d'air 276

12. Maintenance et diagnostic d'anomalies

12.1 Introduction

Il est indispensable de veiller au bon fonctionnement du système de ventilation si l'on veut que le milieu dans lequel se trouvent les animaux soit propice à leur productivité. Les principales fonctions du système sont d'extraire l'humidité produite par la respiration animale, la chaleur excédentaire, les gaz, les odeurs et la poussière tout en assurant un milieu confortable et exempt de courants d'air. Si le système n'est pas à la hauteur, les risques de voir les animaux malades ou peu productifs augmentent considérablement.

Malheureusement, les systèmes de ventilation ne fonctionnent pas toujours comme prévu. Les problèmes peuvent résulter d'erreurs de conception, de gestion et/ou d'entretien du système. Des défaillances sont toujours possibles, mais elles sont plus rares quand un programme d'entretien périodique est en place.

12.2 Maintenance

La surveillance de l'ambiance à l'intérieur du local et de la performance du matériel fait partie du quotidien d'un exploitant. Pour que cette surveillance soit efficace, ce dernier doit maîtriser les méthodes d'élevage et bien connaître le matériel qui est installé. En plus des contrôles rapides quotidiens, il doit inspecter de manière plus approfondie, nettoyer et réparer le matériel à chaque saison ou entre les cycles de production, selon la fréquence qui convient.

Le système de ventilation et de chauffage réunit un certain nombre de composantes qui sont conçues et installées pour fonctionner ensemble de manière à procurer aux animaux logés un milieu confortable et productif. Chaque composante est abordée ci-dessous du point de vue de ses besoins d'entretien périodique.

12.2.1 Ventilateurs

Pour obtenir toute la gamme des débits d'air nécessaires à la ventilation sous différentes conditions, allant du débit minimal par temps froid au débit maximal par temps chaud, il est important de pouvoir compter sur le nombre de ventilateurs et la capacité des ventilateurs prévus par la conception (figure 12.1). Un contrôle visuel permet de s'assurer qu'un nombre raisonnable de ventilateurs fonctionnent compte tenu des conditions météorologiques et du nombre ainsi que du gabarit des animaux qui se trouvent dans le local d'élevage.

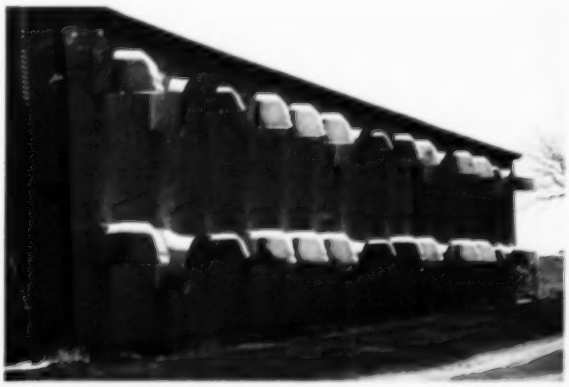


Figure 12.1a Ventilateurs d'extraction convenablement protégés par des capots de protection contre les intempéries

Anomalies touchant les ventilateurs

Un ventilateur peut :

- être bruyant ou produire des vibrations lorsque ses coussinets ont besoin d'être remplacés;
- surchauffer et s'éteindre momentanément quand s'enclenche le dispositif de protection contre les surcharges thermiques, entraînant des périodes d'absence ou de quasi-absence de ventilation;
- tomber carrément en panne par suite de coussinets grippés ou d'un moteur grillé, par exemple;

- accumuler de la poussière sur les volets, les pales, le moteur, les grilles de protection et/ou le capot de protection, ce qui risque d'occasionner :
  - une réduction du débit d'air si les volets ne peuvent s'ouvrir, d'où une augmentation de la résistance au passage de l'air,
  - la surchauffe du moteur attribuable à l'effet isolant de la poussière qui l'entoure;
- comporter des connexions électriques qui se sont détériorées, particulièrement dans le cas des ventilateurs reliés à des conduits dans la fosse qui peuvent constituer un danger, prendre feu et tomber en panne;
- subir des bris (volets, grille de protection, capot) qui peuvent constituer des dangers pour les travailleurs et entraîner une exposition aux éléments;
- subir le contrecoup de mauvais réglages du régulateur, notamment :
  - la programmation de la mauvaise courbe de moteur dans le régulateur, ce qui a pour effet de compromettre le bon fonctionnement d'un ventilateur à vitesse variable,
  - un mauvais réglage de la minuterie commandant la ventilation de palier 1,
  - des températures de marche et d'arrêt mal choisies pour un palier de ventilation en particulier,
  - un mauvais réglage de la vitesse minimale ou l'omission de modifier la vitesse minimale au fur et à mesure de la croissance des animaux.

Même s'il est important de se soucier de toute anomalie touchant les ventilateurs et de faire une surveillance suivie, il importe encore davantage de veiller à la propreté de ces appareils, car la saleté peut en réduire le débit de 30 % ou plus. Le nettoyage des ventilateurs doit donc faire partie des priorités de l'exploitant à chaque saison ou entre chaque cycle de production, de manière à prévenir les problèmes de réduction du débit d'air posés par des ventilateurs mal entretenus comme celui qui est illustré à la figure 12.1b.

Figure 12.1b Ventilateur d'extraction ayant besoin d'un nettoyage

12.2.2 Entrées d'air

Comme les entrées d'air servent à faire entrer l'air frais, il est indispensable de les régler correctement si l'on veut procurer aux animaux un local confortable et propice à leur productivité (figure 12.2). Un simple coup d'œil aux entrées d'air permet parfois au producteur de repérer un réglage qui ne convient pas du tout aux conditions météorologiques du jour ou à la taille des animaux qui se trouvent dans le local. La plupart du temps, toutefois, les mauvais réglages de l'ouverture des entrées d'air passent inaperçus, principalement du fait que l'air qui circule n'est pas visible. Une vérification saisonnière à l'aide d'une poire à fumée ou d'un générateur de brouillard permet d'observer le schéma de circulation de l'air et de s'assurer que toutes les zones du local sont convenablement ventilées et qu'il ne se crée nulle part de courant d'air.

Figure 12.2 Un réglage adéquat des entrées d'air garantit le maintien d'un milieu confortable pour les animaux

Anomalies touchant les entrées d'air

Voici certaines anomalies que peuvent présenter les entrées d'air :

- L'air entrant s'écoule dans la mauvaise direction en raison d'un panneau rabattable installé selon la mauvaise inclinaison par rapport à la surface du plafond (trop à la verticale ou trop à l'horizontale). L'angle des panneaux rabattables par rapport au plafond doit se situer entre 30 et 60°, l'idéal étant un angle de 45°.
- La largeur d'ouverture d'une entrée d'air est trop faible. Pour laisser entrer un maximum d'air, il faut que les panneaux soient abaissés au-delà de l'horizontale. Une largeur d'ouverture trop faible peut faire en sorte que la vitesse d'admission de l'air soit trop élevée pour les animaux sensibles. Dimensionner correctement les entrées d'air en fonction de la vitesse maximale d'admission d'air et du schéma de circulation recherché.
- Les entrées d'air modulaires d'une même rangée sont trop espacées. Pour une ventilation efficace, il faut que toute la masse d'air du local soit mélangée, ce qui oblige à espacer les entrées d'air d'au plus 10 pi (3,0 m) sur une même rangée.
- La capacité d'admission de l'air disponible est trop grande pour répondre aux besoins de ventilation minimale par temps froid. Ce problème est fréquent. Il se manifeste par une pression statique très faible, même lorsque les entrées d'air sont complètement fermées. Il en résulte une piètre circulation d'air. Pour remédier au problème, on installe un système de circulation d'air intérieur qui facilite la distribution du faible apport d'air frais nécessaire et l'uniformisation de la température dans le local.
- Des objets au plafond font obstacle à la circulation de l'air qui est ainsi redirigée vers le sol avant d'avoir eu le temps de se réchauffer et/ou de ralentir sa course. Éviter d'installer quoi que ce soit au plafond à moins de 4 pi (1,2 m) et idéalement à moins de 8 pi (2,4 m) d'une entrée d'air.
- Les câbles de commande des entrées d'air s'étirent à la longue et ne permettent plus d'ouvrir ou de fermer les panneaux uniformément sur toute leur longueur. S'assurer que les câbles ne font pas plus de 150 pi (45 m) de long. Diviser les panneaux plus longs en deux sections et positionner l'actionneur à câbles et le treuil entre les deux, de manière à réduire de moitié la longueur de câble nécessaire au réglage des panneaux situés de part et d'autre.
- La programmation des réglages des entrées d'air dans le régulateur de ventilation pose problème :
  - Les mauvais pourcentages d'ouverture des entrées d'air ont été programmés dans le régulateur pour les paliers de ventilation successifs, ce qui entraîne une ouverture exagérée ou insuffisante des entrées d'air. On doit programmer la largeur d'ouverture des entrées d'air à chaque palier de ventilation en se servant d'un manomètre de pression statique et en effectuant un test de fumée pour s'assurer d'un bon schéma de circulation d'air.
  - La largeur d'ouverture des rideaux ou panneaux correspondant à chaque palier de ventilation naturelle est trop grande par temps froid. Modifier les largeurs d'ouverture à chaque saison.
  - Les contrepoids sur les leviers des entrées d'air auto-équilibrées sont mal placés pour toute la quantité d'air qui pénètre par les entrées d'air. Ces contrepoids doivent être ajustés à chaque saison et équilibrés les uns par rapport aux autres de manière à obtenir sensiblement la même largeur d'ouverture. Cette opération est plus difficile à réaliser une fois qu'un local compte plus de 8 ou 10 entrées d'air auto-équilibrées.
- Les câbles qui commandent les entrées d'air sont mal alignés, sautent une poulie ou restent coincés et endommagent le système de commande à câbles. Garder les poulies bien lubrifiées et veiller à ce qu'une pression suffisante soit appliquée en tout temps sur l'actionneur à câbles.

- Les interrupteurs de fin de course sur les actionneurs à câbles sont défectueux ou contournés. Les entrées d'air se referment alors trop étroitement, ce qui brise les câbles ou arrache du mur le système d'ancrage des câbles. Vérifier souvent la distance de déplacement des câbles et les interrupteurs de fin de course pour s'assurer d'un bon fonctionnement du système de commande.
- Les panneaux rigides de ventilation naturelle sont pris dans la glace formée par la condensation qui apparaît par temps froid sur le bâti. Une fois que la glace a fondu, les panneaux s'ouvrent brusquement et risquent ainsi d'endommager les câbles. Garder le taux d'humidité sous les 70 % et réduire les fuites d'air à la base des panneaux. Dans certaines installations, on installe un câble chauffant pour prévenir ce problème.
- L'isolant du vide sous-toit est soufflé dans les entrées d'air au plafond et obstruent partiellement l'écoulement de l'air. Vérifier les entrées d'air au moins une fois par année pour s'assurer que le vent qui s'introduit dans le vide sous-toit n'a pas causé ce genre de problème. Après la pose d'isolant dans le vide sous-toit, toujours vérifier les entrées d'air et les nettoyer au besoin.
- Le vent et/ou la neige pénètrent dans l'entrée d'air, ce qui entraîne des problèmes de surventilation, d'obstruction de l'entrée, de gel et de condensation. Veiller à bien protéger la prise d'air par un capot ou un auvent et, si elle est exposée au vent, réduire la superficie de la bouche de prise d'air durant les mois d'hiver.

12.2.3 Appareils de chauffage

On retrouve dans les installations d'élevage toute une gamme d'appareils de chauffage. Les aérothermes non ventilés sont peu coûteux et largement utilisés, mais ce sont les appareils qui ont tendance à nécessiter le plus d'entretien (figure 12.3). Les systèmes de chauffage à eau chaude alimentés par une chaudière sont ceux qui coûtent le plus cher, mais qui ont aussi la durée de vie utile la plus longue et qui nécessitent le moins d'entretien.

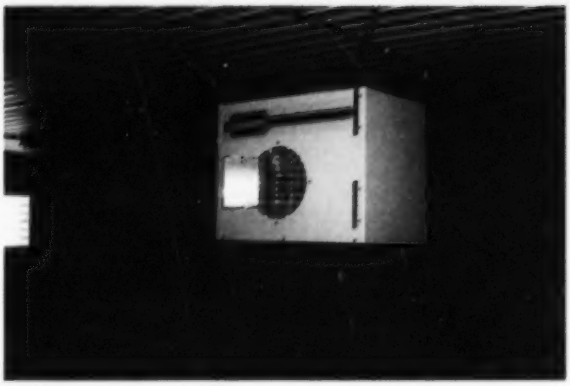


Figure 12.3 Aérotherme

Anomalies touchant le chauffage

Voici les anomalies que peuvent présenter les appareils de chauffage :

- L'appareil ne se met pas en marche en raison d'un problème d'allumage. La flamme du pilote est éteinte ou il existe un problème au niveau de la commande électronique d'allumage.
- L'appareil ne se met pas en marche, car l'interrupteur-capteur d'air ne capte aucun déplacement d'air provenant du ventilateur de l'appareil de chauffage.
- Un brûleur encrassé donne une combustion incomplète – la flamme est jaune plutôt que bleue, qu'il s'agisse de propane ou de gaz naturel – et produit du monoxyde de carbone potentiellement létal.
- Une défaillance de la pompe et/ou de la soupape d'un système de chauffage à eau chaude empêche l'eau de circuler.
- De mauvais réglages du régulateur du système de ventilation nuisent au bon fonctionnement de l'installation de chauffage :
  - Zone d'insensibilité insuffisante ou inexistante de l'appareil de chauffage, qui s'éteint exactement à la température de consigne, ce qui occasionne une élévation excessive de la température et un gaspillage d'énergie.

- La température de consigne relative pour l'appareil de chauffage est trop faible par rapport à la température de consigne principale. Par conséquent, la température du local ne baisse pas suffisamment pour activer le chauffage ou la chaleur dégagée par les animaux ne suffit pas à réchauffer le local. Dans l'un et l'autre cas, la ventilation n'est pas suffisante pour évacuer l'humidité.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : De mauvais réglages du régulateur pour le chauffage entraînent un gaspillage d'énergie considérable. S'assurer que l'appareil de chauffage s'éteint avant d'avoir atteint la température de consigne.

La plupart des appareils de chauffage ne servent que durant les épisodes de froid, de sorte qu'ils peuvent être négligés le reste de l'année et ne pas fonctionner quand il le faut. Tous les appareils de chauffage ont besoin d'un entretien suivi. Voici les conseils d'entretien qui s'appliquent aux appareils de chauffage :

- Nettoyer les appareils périodiquement avec un jet d'air à haute pression. Toujours dépoussiérer les appareils avant de les laver, car le nettoyage se fait plus facilement s'ils sont exempts de poussière et de saleté.
- Pour laver un appareil, n'utiliser qu'une pression faible et redémarrer l'appareil sitôt le lavage terminé afin qu'il s'assèche rapidement, ce qui évite que les pièces restent coincées.
- Vérifier périodiquement l'état des connexions. Avec le temps, les fils peuvent devenir cassants.
- Périodiquement, durant la belle saison, faire démarrer l'appareil de chauffage pour s'assurer qu'il est en état de marche et prêt à fonctionner.
- Si des conduites de gaz ont été débranchées de l'appareil, les rebrancher, puis vérifier s'il y a des fuites en utilisant de l'eau savonneuse à la fois après avoir rebranché l'appareil et avant de le faire fonctionner.

12.2.4 Régulateurs des systèmes de ventilation

Les régulateurs de ventilation électroniques (figure 12.4) sont des appareils perfectionnés conçus pour gérer la ventilation et le chauffage dans le respect d'une stratégie de régulation programmée dans l'appareil par le propriétaire ou l'exploitant. La programmation oblige ce dernier à bien comprendre les besoins de son élevage en matière de ventilation et de chauffage, et à se familiariser avec les fonctions spécifiques du régulateur et son fonctionnement, de manière à pouvoir programmer les bonnes valeurs. Les régulateurs peuvent comporter plus de vingt-cinq paramètres de réglage qu'il faut programmer au départ, puis modifier au besoin, au fur et à mesure de la croissance des animaux et des changements de saison. Si le régulateur permet de programmer une courbe de croissance qui commande automatiquement une réduction de la température de consigne et une augmentation de la vitesse minimale des ventilateurs au fur et à mesure de la croissance des animaux, le nombre de valeurs à programmer augmente considérablement. Si le régulateur commande automatiquement l'ouverture des entrées d'air, il faudra aussi entrer les réglages d'ouverture pour chaque palier de ventilation.

Même si les régulateurs électroniques sont assez fiables, il peut arriver qu'ils soient défectueux. Aussi faut-il munir chaque local d'au moins un thermostat de secours relié à une partie de la capacité de ventilation d'extraction de manière à assurer un certain renouvellement d'air dans l'éventualité d'un mauvais fonctionnement du régulateur. Doter chaque local d'élevage d'un système d'alarme qui avertit soit d'un problème lié à la température soit d'une panne d'électricité. La plupart des régulateurs électroniques comportent un dispositif d'alarme haute et basse températures.

Figure 12.4 Régulateur électronique conçu pour commander l'ensemble des ventilateurs, des entrées d'air, des appareils de chauffage et du matériel de refroidissement par évaporation

Anomalies touchant les régulateurs de ventilation électroniques

Voici les anomalies que peuvent présenter les régulateurs de ventilation électroniques :

- Les capteurs de température perdent leur calibrage ou sont carrément défectueux. Les régulateurs continuent alors de fonctionner en se fondant sur des données de température erronées, surtout s'ils assurent la régulation à partir de la moyenne de deux ou plusieurs capteurs.
- Un capteur d'humidité a perdu son calibrage et transmet des données inexactes au régulateur.
- Les régulateurs fonctionnent mal en raison d'une saute de puissance. La plupart des régulateurs viennent avec une protection intégrée contre les surpuissances, mais ce problème peut quand même se manifester s'il se produit des variations de tension extrêmes.
- Les régulateurs peuvent présenter une défaillance totale. Un thermostat de secours devrait alors faire démarrer automatiquement une partie de la ventilation.
- Les régulateurs sont par inadvertance atteints par le jet à haute pression servant au nettoyage du local. La plupart des régulateurs ne supportent pas un tel traitement. Pour cette raison, il vaut mieux installer les régulateurs hors des locaux où se trouvent les animaux, dans un couloir ou un local d'entretien.
- Voici les erreurs à éviter dans le réglage du régulateur du système de ventilation :
  - enregistrement de la mauvaise température de consigne;
  - mauvaises valeurs de températures de consigne utilisées dans la programmation de la courbe de croissance, d'où un abaissement de la température trop rapide ou trop lent;
  - utilisation des mauvais numéros des courbes de moteur, ce qui empêche les ventilateurs de fonctionner correctement comme des ventilateurs à vitesse variable;
  - enregistrement des mauvaises températures de marche et d'arrêt des ventilateurs aux divers paliers de ventilation;
  - chevauchement des paliers de ventilation, amenant des températures instables et un gaspillage d'énergie;
  - vitesses minimales des ventilateurs insuffisantes pour assurer le renouvellement d'air recherché ou pour permettre le refroidissement des moteurs des ventilateurs, ceux-ci étant refroidis par le passage de l'air;
  - appareil de chauffage mal relié à l'installation de ventilation;
  - réglages de la minuterie commandant la ventilation minimale procurant une ventilation insuffisante ou excessive.
  - mauvaises valeurs de vitesses minimales des ventilateurs utilisées dans la programmation de la courbe de croissance, d'où des vitesses minimales des ventilateurs qui augmentent trop rapidement ou trop lentement;
  - différentiel représentant une plage de températures trop étendue ou trop étroite pour la ventilation d'un palier en particulier ou pour l'ensemble de la ventilation, entre la ventilation minimale et maximale;
  - mauvais réglage du décalage de la température de consigne relative et/ou du différentiel de températures pour le

chauffage, responsable d'un local trop froid ou d'un gaspillage d'énergie;
- réglages visant la maîtrise de l'humidité causant une ventilation excessive;
- mauvais pourcentages d'ouverture des entrées d'air, faisant en sorte que l'apport d'air frais est insuffisant ou excessif et engendre des courants d'air;
- rideaux ou panneaux de ventilation naturelle déplacés de manière insuffisante ou exagérée à chaque vérification de température, selon le moment de l'année;
- réglages de la brumisation laissant le local trop humide pendant les grandes chaleurs;
- mauvaises valeurs d'alarme haute et basse températures causant le déclenchement intempestif des alarmes ou les empêchant de se déclencher.

Pour s'assurer que les régulateurs de ventilation fonctionnent à partir de la vraie température ambiante, leur entretien est primordial. Vérifier périodiquement la température de chaque capteur de température électronique à l'aide d'un thermomètre fiable pour s'assurer que sa lecture de la température est exacte. Garder les capteurs de température propres afin d'éviter les temps de réaction lents. Les capteurs d'humidité situés à l'intérieur des locaux d'élevage sont extrêmement sensibles aux dommages causés par les opérations de lavage à l'eau; pour les maintenir fonctionnels, les enlever ou les protéger par du plastique avant de procéder au lavage des locaux.

12.2.5 Entretien général du bâtiment

La structure peut avoir une influence directe sur la performance du système de ventilation et de chauffage. Un local raisonnablement étanche est nécessaire pour que l'air frais entre par les entrées d'air plutôt que par diverses ouvertures notamment autour des portes et des fenêtres. Ce point est important par temps froid pour éviter des courants d'air non souhaités. Vérifier annuellement les coupe-froid et le calfeutrage et faire les réparations nécessaires pour maintenir le local étanche. Installer des couvercles isolés sur les gros ventilateurs d'extraction utilisés durant l'été afin d'accroître l'étanchéité du bâtiment et de réduire les pertes de chaleur.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Vérifier annuellement les coupe-froid et le calfeutrage et faire les réparations nécessaires pour maintenir chaque local étanche.

Le degré d'isolation du bâtiment peut influencer les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. Comme les matériaux isolants se tassent avec le temps et sont sujets aux dommages causés par les rongeurs, en vérifier annuellement la quantité et la qualité. Améliorer l'isolation au besoin pour s'assurer que le bâtiment bénéficie d'un bon équilibre thermique.

CONSEIL ÉCONERGÉTIQUE : Vérifier annuellement la quantité et la qualité de l'isolation et remédier aux lacunes pour s'assurer que le bâtiment bénéficie d'un bon équilibre thermique.

Pour prévenir les dommages causés aux bâtiments, toute exploitation d'élevage doit se doter d'un bon programme de lutte contre les rongeurs.

12.3 Diagnostic d'anomalies

Le diagnostic des anomalies que peut présenter un système de ventilation suppose une compréhension des principes de ventilation et la mise en place de bonnes techniques d'élevage. Le comportement et la productivité des animaux sont les meilleurs indicateurs de la performance du système de ventilation. Si les animaux sont confortables, ils paraissent et sont paisibles. S'ils ont froid, ils se blottissent les uns contre les autres. S'ils ont trop chaud, ils halètent.

La présente section traite de certains problèmes de ventilation fréquents et propose des façons d'y remédier. Les tableaux 12.1 et 12.2 (à la toute fin du chapitre) résume l'information donnée dans les pages qui suivent. Les problèmes de ventilation ont tendance à être interreliés. Souvent, un problème en amène un autre. Par exemple, prenons la situation où une entrée d'air assurant une ventilation transversale est ouverte trop grand. Il en résultera une mauvaise répartition de l'air dans le bâtiment, mais aussi plusieurs autres problèmes qui s'y rattachent.

- L'air froid entrant descend alors rapidement au sol, ce qui constitue une source de courants d'air.
- La température n'est pas uniforme à la grandeur du bâtiment.
- L'air devient chargé d'humidité parce qu'il n'est pas mélangé avec l'air frais et qu'il n'est pas acheminé vers une sortie d'air.

Si l'on réduit l'ouverture de l'entrée d'air, l'air frais s'engouffre à une vitesse accrue dans le bâtiment, ce qui assure un meilleur mélange de l'air et un bon schéma de circulation de l'air. Le problème de la distribution de l'air est alors résolu de même que celui des courants d'air froid au sol et des températures inégales. L'air étant aussi mieux mélangé, davantage de vapeur d'eau se trouve évacuée vers les ventilateurs d'extraction. Ces interrelations compliquent l'analyse des problèmes de ventilation. Plusieurs changements sont nécessaires pour remédier à un problème.

12.4 Entrée dans le bâtiment

Pour être à même de diagnostiquer une anomalie, il faut avant tout être fin observateur et savoir reconnaître les signes d'inconfort chez les animaux. Il s'agit d'entrer discrètement dans le bâtiment, de prêter attention à ce qu'on voit et de consigner ses observations. Les animaux fournissent souvent des indices quant à la nature d'un éventuel problème environnemental. Par exemple, si des poussins nouvellement placés sont tous agglutinés très serrés sous une éleveuse ou si des porcelets s'entassent ou se blottissent les uns contre les autres, c'est probablement que la pièce est trop froide.

On doit prendre soin d'assainir le matériel servant aux tests et à la mesure des différents paramètres de qualité de l'air qu'on apporte dans les locaux d'élevage. Utiliser un thermomètre fiable pour vérifier la température de l'air en divers points et s'assurer que le capteur de température utilisé par le régulateur de ventilation est bien calibré. Mesurer l'humidité relative à l'aide d'un hygromètre ou d'un psychromètre fronde pour s'assurer que le bon taux d'humidité règne dans le local. Une poire à fumée est utile pour visualiser le schéma de circulation de l'air et déceler d'éventuels courants d'air dans les aires occupées par les animaux. Des tubes de dosage colorimétrique de l'ammoniac et du dioxyde de carbone dans des échantillons d'air sont utiles pour évaluer l'ampleur de problèmes liés à la qualité de l'air.

12.5 Problèmes d'odeurs

L'odorat humain se détériore rapidement lorsqu'il est exposé à des odeurs fortes. Aussi faut-il identifier les odeurs présentes dans un local dès les premières minutes de l'inspection. La présence d'animaux et de leurs déjections donne lieu à l'émanation d'un certain nombre de gaz. Le tableau 12.1 dresse une liste des gaz habituellement présents dans les bâtiments d'élevage et présente quelques-unes de leurs propriétés.

Ammoniac (NH_3) : L'ammoniac est l'un des principaux gaz produits par la décomposition des déjections animales. Il est classé parmi les gaz irritants. Son odeur piquante caractéristique fait en sorte qu'il est facile à déceler. L'ammoniac est plus léger que l'air et prédispose les animaux à souffrir de différentes maladies respiratoires s'ils y sont exposés à de fortes concentrations pendant une période prolongée. Des concentrations d'ammoniac de 20 – 50 parties par million (ppm) peuvent irriter les yeux, selon la sensibilité de chaque personne ou animal. Ce gaz est préoccupant dans les bâtiments abritant des porcs et de la volaille et est problématique dans les exploitations de compostage de fumier.

Une forte odeur d'ammoniac est un signe que la ventilation est probablement insuffisante. Des planchers mouillés et souillés de déjections animales peuvent donner lieu à des concentrations excessives d'ammoniac. Comme ce gaz est soluble dans l'eau, un taux d'humidité relative élevé accentue les problèmes d'odeurs. Un pH de l'eau élevé (> 8,0) influence aussi la décomposition des déjections animales et entraîne une production d'ammoniac nettement plus élevée.

En principe, on devrait améliorer la ventilation dès qu'on ressent une irritation des yeux. Une bonne ventilation maintient les concentrations d'ammoniac sous les 20 ppm par temps froid et sous les 10 ppm par temps doux.

Tableau 12.1 Gaz présents dans les bâtiments d'élevage et ce qu'il faut savoir à leur sujet

Gaz	Concentration	Ce qu'il faut savoir sur la concentration
Ammoniac	< 20 ppm	atteignable avec une bonne ventilation
	25 ppm	TLV-TWA*
	50 ppm	peut causer la cécité chez les volailles
	> 100 ppm	occasionne une perte d'appétit chez les porcs, une réduction de la production d'œufs chez les poules
Dioxyde de carbone	300-350 ppm	identique à celle de l'air frais extérieur
	< 3 000 ppm	atteignable avec une bonne ventilation
	5 000 ppm	TLV-TWA*
	30 000 ppm	amène une accélération de la respiration, de la somnolence
	300 000 ppm	cause la mort en moins de 30 minutes
Monoxyde de carbone	0,1 ppm	identique à celle de l'air frais extérieur
	< 5 ppm	atteignable avec une bonne ventilation
	< 15 ppm	correspond à celle qu'on observe à proximité d'un poêle à gaz à flamme nue bien réglé
	100-200 ppm	équivaut à la concentration au milieu d'un bouchon de circulation
	> 1 000 ppm	risque de causer la mort après une période prolongée
Sulfure d'hydrogène	4 ppm	décelable par l'odeur modérée qu'il dégage
	10 ppm	TLV-TWA*
	100 ppm	cause toux, irritation des yeux, perte d'odorat après 2-15 minutes
	> 500 ppm	cause une perte de conscience et éventuellement la mort après 30-60 minutes
Méthane	1 000 ppm	TLV-TWA *
	> 50 000 ppm	causera une déflagration en présence d'une étincelle ou d'une autre source d'inflammation

Source : American Society of Agricultural and Biological Engineers Standards, 2006.
*TLV-TWA signifie valeur limite d'exposition et moyenne pondérée dans le temps; il s'agit de la concentration à laquelle les travailleurs sont exposés à répétition quand ils travaillent des quarts de 8 heures et 40 heures semaine sans réaction indésirable apparente.

Sulfure d'hydrogène (H_2S) : Sous-produit de la décomposition anaérobie de matières organiques comme le fumier, ce gaz a une odeur caractéristique d'œufs pourris qui est facile à détecter même à de faibles concentrations (< 25 ppm). Cependant, à de fortes concentrations, il paralyse le sens de l'odorat. Le sulfure d'hydrogène est plus lourd que l'air, de sorte qu'il git tout juste au-dessus de la surface du fumier. Les émanations de sulfure d'hydrogène sont relativement faibles si l'on ne bouge pas le fumier et si les températures extérieures sont basses. Le sulfure d'hydrogène atteint des niveaux dangereux (> 50 ppm) très rapidement chaque fois qu'on agite le fumier liquide se trouvant dans une structure de stockage ou qu'on évacue le fumier des caniveaux. Des concentrations supérieures à 5 ppm ne sont pas souhaitables dans un bâtiment d'élevage et indiquent la nécessité d'accroître le taux de renouvellement d'air. Si la concentration est supérieure à 15 ppm, il faut sortir immédiatement des locaux. Pendant la manutention ou le déplacement du fumier, notamment lors du nettoyage des caniveaux, porter sur soi un détecteur de sulfure d'hydrogène portatif relié à une alarme audible et s'assurer que les ventilateurs fonctionnent et que les entrées d'air sont ouvertes en conséquence.

Dioxyde de carbone (CO_2) : Ce gaz incolore et inodore fait partie des gaz produits par la respiration des animaux et des végétaux, de sorte qu'on le trouve à l'état naturel dans l'atmosphère. Un appareil de chauffage autonome à flamme nue non ventilé dégage du dioxyde de carbone qui se retrouve dans l'air ambiant, ce gaz étant aussi un sous-produit de la combustion. Le dioxyde de carbone est plus lourd que l'air, de sorte qu'il longe le sol des enclos ou la surface du fumier dans les caniveaux ou les structures de stockage. Le principal danger que pose le dioxyde de carbone vient de ce qu'il appauvrit l'air en oxygène, de sorte qu'à fortes concentrations, il provoque l'asphyxie ou la suffocation.

Des bâtiments d'élevage bien ventilés ne renferment généralement pas de concentrations dangereuses de CO_2 (on parle de plus de 30 000 ppm). Toutefois, si la ventilation est déficiente, les concentrations au ras du sol peuvent s'élever suffisamment pour nuire au rendement de l'élevage. Pareille situation est observée dans maints poulaillers-parquets au moment du placement de poussins en l'absence d'un système de circulation d'air intérieur qui contribuerait à diluer les fortes concentrations de CO_2 au ras du sol. Une ventilation convenable limite les concentrations de CO_2 à moins de 5 000 ppm. Certains pays recommandent que cette limite maximale ne dépasse pas 3 000 ppm.

Monoxyde de carbone (CO) : Produit d'une combustion incomplète, ce gaz, incolore et inodore, est dégagé quand sont mal réglés les appareils de chauffage non ventilés à flamme nue comme ceux qu'on utilise souvent dans les bâtiments d'élevage. De la même façon que pour le dioxyde de carbone, le danger vient de ce que ce gaz amène un appauvrissement en oxygène. Le monoxyde de carbone nuit à la capacité du sang de transporter l'oxygène jusqu'au cerveau et au cœur.

Des installations d'élevage bien ventilées doivent avoir des niveaux de monoxyde de carbone acceptables (< 5 ppm). Par comparaison, dans une rue achalandée d'une grande ville, les concentrations attribuables aux gaz d'échappements des véhicules automobiles peuvent grimper à 100-200 ppm, des niveaux qui, chez les humains, sont suffisants pour donner des maux de tête après une exposition prolongée. Les concentrations supérieures à 1 000 ppm sont létales.

Méthane (CH_4) : Également incolore et inodore, ce gaz est produit par la digestion anaérobie. S'il est stocké, il constitue une source de carburant utile pour les moteurs à combustion interne. Plus léger que l'air, il a tendance à s'élever des caniveaux ou des structures de stockage du fumier. Le méthane n'est pas toxique et ne devrait pas poser problème en principe dans les bâtiments d'élevage bien ventilés. Par contre, dans les structures de stockage couvertes ou situées sous les locaux d'élevage, le méthane se trouve piégé et peut alors atteindre des concentrations dangereusement explosives. En présence d'une source d'inflammation (comme un appareil de chauffage non ventilé), une forte concentration de méthane provoquera une explosion. Par conséquent, tout local abritant des animaux doit bénéficier d'un minimum de ventilation et cela même pendant les périodes où le local est vide pour être nettoyé entre les bandes.

12.5.1 Mesure des concentrations de gaz

Des tubes de diffusion servant au dosage colorimétrique des gaz (comme les tubes Draeger et Gastec) permettent un dosage rapide et suffisamment précis de la plupart des gaz contaminants. On utilise une pompe d'échantillonnage (figure 12.5) pour aspirer un échantillon d'air d'un volume connu dans le tube de diffusion. Une réaction chimique modifie la couleur du contenu du tube en fonction de la concentration du gaz présent dans l'échantillon d'air. La lecture de la concentration de gaz se fait directement sur le côté du tube de verre.

Figure 12.5 Tubes de diffusion servant au dosage colorimétrique des gaz

Pour le dosage du sulfure d'hydrogène (H_2S) et du dioxyde de carbone (CO_2), prélever l'échantillon au ras du sol. Ces deux gaz étant plus lourds que l'air, c'est à cet endroit, à la hauteur même où les animaux respirent, qu' ils se retrouvent en plus fortes concentrations.

Les tubes d'échantillonnage peuvent sous-estimer la concentration réelle de ces gaz si la pièce est très humide ou très poussiéreuse. C'est que le réactif

qui se trouve dans le tube de diffusion ne mesure pas tous les gaz dissous dans la vapeur d'eau ou les particules de poussière.

Il existe aussi des tubes de dosage colorimétrique des gaz qui fonctionne par diffusion passive. Dans leur cas, on ouvre le tube et on le laisse exposé à l'air ambiant pendant un laps de temps donné correspondant à plusieurs heures, puis on établit la concentration moyenne du gaz dans le local en divisant la lecture par le nombre d'heures d'exposition. Ce type de tube est utile aux producteurs qui souhaitent faire eux-mêmes périodiquement le dosage des gaz. Ils n'ont alors pas à investir dans une pompe d'échantillonnage qui leur permettrait d'obtenir un résultat instantané.

12.6 Problèmes de température

La température ambiante peut se retrouver hors des limites acceptables en tout temps de l'année. Durant l'hiver, les problèmes de température sont habituellement les suivants :

- pièce froide;
- courants d'air froids;
- fluctuations de température importantes.

Le problème vient souvent d'une lecture erronée de la température par un ou plusieurs capteurs de température (le nombre de capteurs étant fonction de la superficie de la pièce). Il peut arriver qu'un capteur soit mal calibré ou défectueux, ce qui fausse la moyenne des lectures.

Il se peut aussi que le capteur soit simplement placé au mauvais endroit. Par exemple, s'il se trouve près d'une ampoule électrique, il affichera une température plus élevée que celle à laquelle sont soumis les animaux ailleurs dans le local. La température ambiante s'abaissera alors plus qu'il ne faut avant que l'appareil de chauffage ne se mette en marche. Les animaux risquent aussi d'être exposés plus longtemps à des courants d'air froids venant des entrées d'air, ce qui peut leur occasionner un stress. Un capteur situé trop près d'une entrée d'air frais ou d'un mur extérieur froid fera déclencher le chauffage prématurément, ce qui aura pour effet de maintenir la température plus haute qu'il ne faut.

Dans un bâtiment ventilé naturellement, un autre problème posé par l'emplacement du capteur vient parfois de ce que le capteur est exposé au rayonnement solaire durant le jour et enregistre alors une température plus élevée qu'elle ne l'est en réalité. Cette situation maintient les locaux plus frais qu'on ne le voudrait et amène une augmentation du débit d'air entrant, ce qui peut occasionner des courants d'air. Protéger tous les capteurs de température des gains ou des pertes d'énergie thermique.

Nettoyer périodiquement les capteurs de température pour éviter qu'ils ne s'encrassent, sans quoi ils mettraient plus de temps à réagir aux changements de température, ce qui peut provoquer des fluctuations de température importantes.

Le problème le plus fréquent durant l'été est une température ambiante plus élevée qu'elle ne l'est à l'extérieur, à l'ombre. Par temps doux, dans les bâtiments d'élevage, les animaux contribuent à l'élévation de la température ambiante par l'énergie thermique qu'ils dégagent, de sorte qu'il faut toujours plus chaud à l'intérieur qu'à l'extérieur, à moins qu'on ait recours à la climatisation. Veiller à ce la température à l'intérieur du bâtiment ne dépasse pas de plus de 3 °C la température extérieure. Si l'écart est plus grand, trouver la source de chaleur. Il se peut que la ventilation ne suffise pas à extraire la charge thermique dégagée par les animaux. Il se peut aussi que l'air qui entre par le vide sous-toit ait été réchauffée par le rayonnement solaire. L'élévation de la température peut aussi être attribuable à une isolation déficiente des murs et du plafond, qui ne freine pas suffisamment la transmission de la chaleur solaire, ou encore au fonctionnement d'appareils qui contribuent à la charge thermique.

Souvent, des températures excessives à l'intérieur durant l'été sont le fait d'un mauvais réglage des paliers de ventilation. Si le différentiel de températures pour l'ensemble des paliers de ventilation représente une fourchette trop étendue, ou si la température de consigne principale est trop élevée, il y a lieu de craindre que le local devienne beaucoup trop chaud avant que tous les ventilateurs ne se mettent en marche. Revoir à la

fois la température de consigne et le différentiel de températures total de manière à s'assurer d'une température ambiante raisonnable durant l'été.

Compte tenu des écarts de température importants qui sont observés à l'extérieur le printemps et l'automne, une fluctuation importante des températures ambiantes est à prévoir au cours de ces deux saisons. Il n'est pas rare que le système de chauffage fonctionne pendant la nuit et que la ventilation roule presque à plein régime durant le jour. Il est important de bien choisir la température de consigne principale et le différentiel qui s'applique à chaque palier de ventilation de manière à limiter les variations de température et la magnitude de ces variations à l'intérieur du local et d'éviter ainsi de soumettre les animaux à un stress indu.

Des fluctuations de température importantes ou des changements brusques de température sont pour leur part causés par des appareils surdimensionnés. Le système de chauffage étant dimensionné en fonction des besoins durant la saison de chauffe, il est trop puissant pour les besoins printaniers et automnaux, si bien qu'il provoque des dépassements de température qu'enregistre le régulateur. Il faut alors élargir la zone d'insensibilité de l'appareil de chauffage pour éviter le gaspillage d'énergie. Aux fins du refroidissement d'un bâtiment d'élevage, des ventilateurs d'extraction surdimensionnés peuvent amener un changement de température trop brusque et soumettre ainsi les animaux à un stress. Des ventilateurs à vitesse variable et des différentiels de température réglables remédient à ce type de problème.

12.6.1 Mesure des températures

Un thermomètre précis est indispensable à la vérification des températures ambiantes réelles et à la vérification du calibrage des capteurs de température qu'utilise le régulateur du système de ventilation. Le marché regorge de thermomètres numériques de bonne qualité à affichage rapide. Un certain nombre de ces thermomètres de poche viennent aussi avec un capteur d'humidité, ce qui en fait des outils plus polyvalents (figure 12.6).

Figure 12.6 Thermomètre de poche doublé d'un hygromètre

Certains producteurs utilisent un thermomètre à mercure bon marché qu'ils suspendent dans la pièce pour vérifier l'exactitude des capteurs utilisés par le régulateur. La méthode est bonne, pourvu qu'on garde les thermomètres propres et qu'on en vérifie périodiquement la précision. Voici à cette fin un test facile à réaliser : plonger le thermomètre dans un bain moitié glace moitié eau qu'on a laissé reposer pendant une trentaine de minutes. S'il est précis, le thermomètre devrait donner une lecture de 0 °C (32 °F).

Les thermomètres maxima-minima sont des instruments utiles qui indiquent la température ambiante et l'amplitude des variations de température ambiante depuis la dernière réinitialisation du thermomètre. Si la vérification et la réinitialisation se font quotidiennement, le producteur est averti de tout écart de température important susceptible d'occasionner un stress aux animaux. Il est alerté précocement d'éventuels problèmes de réglages liés à la ventilation ou de la défectuosité d'appareils. La plupart des régulateurs électroniques de ventilation comportent une fonction d'enregistrement des maxima et minima. Il est important de faire la lecture du thermomètre et de le réinitialiser quotidiennement.

Les thermomètres pistolets infrarouge numériques sont utiles pour mesurer les températures des surfaces, notamment celles des planchers des coins à porcelets dans les cases de parturition des porcheries-maternités ou celles des planchers des poussinières sous un générateur de chaleur à tubes rayonnants. Un autre outil d'enquête perfectionné est la caméra thermique, aussi appelée caméra à imagerie thermique, qui produit une image thermique, laquelle, grâce à un code de couleur, permet de repérer les surfaces plus ou moins chaudes ou froides. Cette caméra est utile à la localisation des endroits où il manque de l'isolant

dans les murs et au plafond et des endroits où des dispositifs électriques sont défectueux (p. ex. mauvaise connexion ou moteur de ventilateur qui surchauffe). Les figures 12.7a et 12.7b montrent un moteur de ventilateur très chaud qui a besoin d'être remplacé.

Figure 12.7a Photo normale d'un moteur de ventilateur

Figure 12.7b Image thermique du même moteur révélant une surchauffe du moteur

La zone rouge de l'image thermique révèle la surchauffe du moteur du ventilateur. Normalement, le dispositif de protection contre les surcharges thermiques provoquera l'arrêt du moteur pour l'empêcher de prendre feu. Une fois le ventilateur éteint, la ventilation peut s'en trouver affectée.

Pour un diagnostic détaillé des anomalies, suspendre dans le local des enregistreurs de données électroniques portatifs (de marque Hobo ou Smart Reader, par exemple) comme ceux qui sont illustrés à la figure 12.8 afin de permettre l'enregistrement en continu de différents paramètres environnementaux, comme la température, l'humidité sur une journée ou sur plusieurs semaines. Avec un logiciel adapté, il est possible de télécharger ces données sur un ordinateur pour en prendre connaissance et les analyser.

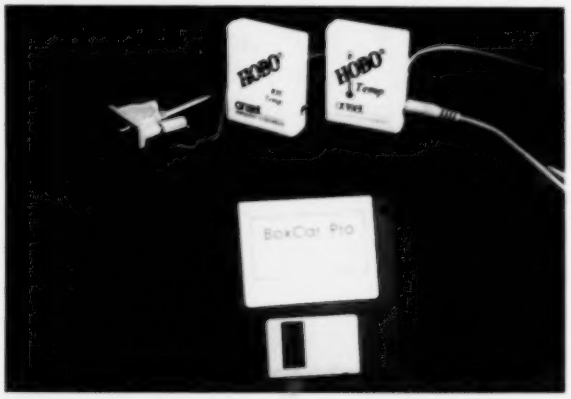


Figure 12.8 Enregistreurs portatifs de données sur la température et l'humidité

12.7 Problèmes d'humidité relative

Un milieu animal peut être trop sec ou trop humide. Pour un bâtiment d'élevage, la fourchette de taux d'humidité acceptables recommandée est de 50 à 70 %. Des taux d'humidité plus faibles rendent l'air poussiéreux, ce qui augmente la probabilité de problèmes respiratoires. Étant donné que la respiration des animaux enrichit constamment d'humidité l'air des locaux d'élevage, de faibles taux d'humidité ne sont habituellement pas à craindre. Il se peut toutefois que des appareils de chauffage et/ou des ventilateurs abaissent trop le taux d'humidité, soit parce qu'ils sont mal utilisés soit parce qu'ils sont surdimensionnés. Si un local est surventilé, le régulateur provoque le démarrage plus fréquent du chauffage dans le but de rétablir la température minimale, ce qui a pour effet d'assécher à outrance l'air entrant. Si le ventilateur d'extraction expulse trop d'air, il expulse en même temps plus d'humidité qu'il ne faut, d'où l'abaissement du taux d'humidité ambiant.

Il est plus fréquent de faire face à un surcroit d'humidité par suite d'une ventilation inadéquate qui ne permet pas de chasser suffisamment de l'humidité produite par les animaux et de la vapeur d'eau excédentaire produite par un appareil de chauffage

non ventilé. L'apparition de condensation sur les surfaces à l'intérieur du local, particulièrement sur les portes et les fenêtres à double vitrage, est un indicateur précoce d'un taux d'humidité trop élevé. Par temps froid, il est assez normal d'observer un peu de condensation et de brouillard près des entrées d'air, là où les masses d'air froid et d'air chaud se rencontrent; il faut donc se garder de conclure systématiquement à une humidité excessive. De la condensation ou du givre peut se former autour des points de pénétration de l'air dans le bâtiment (p. ex. près des portes) et sur des murs de fondation de béton non isolés.

De fortes odeurs dans le bâtiment sont souvent un indice que le milieu est trop humide. En tant que principal gaz des fumiers, l'ammoniac est présent dans tout local d'élevage et, parce qu'il est hydrosoluble, il s'attache à chaque molécule d'eau en suspension dans l'air ambiant. Plus la vapeur d'eau est abondante (plus l'air est humide), plus il y aura d'ammoniac dans l'air.

Il s'agit d'augmenter le taux de renouvellement d'air minimal si les surfaces semblent mouillées, si l'odeur qui règne dans le local est forte ou si le taux d'humidité y est supérieur à 70 %. Dans tout local abritant des animaux en croissance, la production d'humidité s'accroît avec la croissance des animaux. Pour maintenir le taux d'humidité à un niveau raisonnable, il s'agit d'élever constamment le taux de renouvellement d'air minimal en utilisant un ventilateur à vitesse variable et un régulateur électronique de ventilation. Bon nombre de ces régulateurs possèdent une courbe des vitesses minimales qu'on peut programmer en fonction de la croissance des animaux (p. ex. en fonction du nombre de jours dans le local) et qui permet d'augmenter automatiquement la vitesse des ventilateurs au fur et à mesure que les animaux grossissent.

Une fois augmenté, le taux de renouvellement d'air minimal assure un évacuation accrue de l'humidité et, en l'absence d'apport de chaleur par une installation de chauffage, abaisse en même temps la température ambiante. Par conséquent, pour veiller au confort des animaux, l'augmentation de la ventilation devrait s'accompagner d'une activation du chauffage. La chaleur contribue à assécher l'air (abaisse le taux d'humidité relative) en lui permettant d'absorber plus d'humidité avant d'être évacuée.

Si à l'extérieur l'air est humide et proche de la température de déficit thermique du local, situation qui se produit généralement quand le temps est doux à la fin de l'automne, l'hiver ou au début du printemps, le chauffage n'est pas activé et l'humidité relative dans la pièce peut devenir excessive. Il faut alors augmenter le taux de renouvellement d'air minimal. L'augmentation doit être plus grande si le temps est plutôt doux que lors des froids intenses. Quelques régulateurs offrent deux courbes de vitesse minimale qui permettent de tenir compte des variations saisonnières ou des besoins propres à chaque groupe d'animaux *(chapitre 5 – Régulateurs de ventilation)*.

Un excès d'humidité à l'intérieur de la pièce amène un taux d'humidité relative élevé. Des enclos souillés et la présence de déjections sur le sol font augmenter le taux d'évaporation de l'eau dans l'air ambiant. Des surfaces qui ne sont pas complètement asséchées après un nettoyage à pression ajoutent elles aussi à la charge d'humidité dans la pièce.

12.7.1 Mesure de l'humidité relative

Le psychromètre fronde (figure 12.9) est l'instrument normalement utilisé à la ferme pour mesurer le taux d'humidité relative. On se sert de deux thermomètres, l'un dont la pointe est recouverte d'une mousseline mouillée et l'autre, nu, pour mesurer la température du thermomètre mouillé et celle du thermomètre sec. On obtient l'humidité relative en se servant d'un tableau psychrométrique ou de l'échelle coulissante comprise avec l'instrument.

Figure 12.9 Psychromètre fronde utilisé pour mesurer l'humidité relative

Il existe de nombreux hygromètres électroniques à lecture numérique qui sont faciles à utiliser. Les thermomètres-hygromètres de poche sont appréciés des producteurs et des travailleurs agricoles (figure 12.6). Même si ce type d'instrument met plus de temps à réagir à des écarts de température et d'humidité importants, il offre l'avantage d'être assez précis (± 5 %). Si la température ambiante est plutôt uniforme, l'humidité relative sera constante dans la pièce. Dans les zones plus fraîches, la lecture d'humidité relative sera plus élevée, étant donné que l'air plus frais ne peut retenir autant de vapeur d'eau.

Bien des régulateurs électroniques de ventilation sont dotés d'une fonction de régulation de l'humidité et utilisent un capteur d'humidité capacitif suspendu dans la pièce pour assurer une surveillance constante de l'humidité relative. Ces régulateurs augmentent le taux de renouvellement d'air minimal dès que l'humidité relative dépasse la valeur programmée.

Comme il est indiqué dans la section sur la mesure des températures, on suspend des enregistreurs électroniques portatifs de données (p. ex. Hobo, Smart Reader, etc.) afin de permettre l'enregistrement en continu de différents paramètres environnementaux, comme la température, l'humidité, sur une journée ou sur plusieurs semaines, de manière à obtenir l'heure juste sur les conditions ambiantes et à faciliter ainsi le diagnostic des anomalies. On peut télécharger ces données sur un ordinateur afin de les soumettre à des analyses plus poussées.

12.8 Problèmes de circulation de l'air

Même s'il est difficile de visualiser le schéma de circulation de l'air, il faut le faire pour déterminer si :

- le débit d'air est trop lent ou trop rapide;
- la trajectoire de l'air est incompatible avec la disposition des aires occupées par les animaux;
- des obstacles nuisent à la circulation de l'air, dévient l'air de sa trajectoire souhaitable ou stoppe l'air;
- de l'air froid tombe directement sur des animaux sensibles;
- des courants d'air longent le sol et traversent les aires où sont gardés des animaux sensibles;
- des poches d'air stagnant se forment dans le bâtiment.

Les jours très froids de l'hiver (<-15 °C), il est possible de voir le jet d'air entrant du fait de la formation de brouillard provoquée par le refroidissement de l'air ambiant chargé d'humidité dès que l'air glacial pénètre par les entrées d'air (l'humidité relative atteint 100 % à ces endroits). Pourvu que le taux moyen d'humidité relative dans le local se situe à l'intérieur de la fourchette normale, ce brouillard se dissipera dans les premiers 5-10 pi (1,5-3,0 m) de l'entrée d'air, au fur et à mesure que l'air entrant qui longe le plafond se sera mélangé à l'air ambiant et sera à même de retenir plus d'humidité une fois réchauffé. Le brouillard est un bon indicateur de plusieurs problèmes de ventilation qui peuvent survenir par temps froid. La vitesse d'admission de l'air est-elle trop rapide ou trop lente? Dans sa course, l'air entrant se heurte-t-il à un obstacle qui le fait dévier ou le ralentit à l'excès? L'air froid tombe-t-il directement sur les animaux?

Des poires à fumée permettent d'observer le schéma de circulation de l'air dans le local et de se faire ainsi une idée de l'efficacité de la ventilation. Si la vitesse d'admission de l'air est trop lente, l'air froid ne longera pas le plafond suffisamment longtemps pour se réchauffer et retombera prématurément sur les animaux.

Cette situation entraîne deux problèmes :

- les animaux qui se trouvent près des entrées d'air sont exposés à l'air froid et à des courants d'air;
- l'air est mal distribué dans le reste du local et la ventilation y est moins efficace.

Un problème semblable se pose malgré une vitesse d'admission d'air convenable si un obstacle fait dévier l'air et le dirige vers le sol. Il s'ensuit des courants d'air dans certaines parties du local. Une vitesse d'admission d'air trop élevée crée des courants d'air même si le schéma de circulation de l'air est correct, car l'air mélangé se déplace trop rapidement à travers la zone occupée par les animaux. Si le local abrite des animaux sensibles, veiller à ce que l'air qui traverse les aires occupées par les animaux se déplace à au plus 50 pi/min (0,25 m/s) de manière à éviter que les animaux ne subissent un refroidissement attribuable au transfert de chaleur par convection à l'air en mouvement. Une vitesse d'admission d'air trop élevée réduit le taux de renouvellement d'air d'ensemble, car les ventilateurs d'extraction doivent tirer plus fort pour être alimenté en air, ce qui nuit à leur efficacité.

La plupart des entrées d'air sont conçues pour des vitesses d'admission d'air de 800-1 000 pi/min (4-5 m/s). Dans les pièces étroites et dans celles qui abritent des animaux sensibles, il y a lieu de réduire la vitesse d'admission de l'air à 500 pi/min (2,5 m/s). Cette fourchette de vitesses d'admission d'air est corrélée avec une pression négative (dépression dans la pièce) de 0,05-0,10 po CE, que tous les ventilateurs utilisés dans les bâtiments agricoles parviennent à surmonter. Programmer ou régler les entrées d'air de sorte qu'elles s'ouvrent ce qu'il faut pour assurer une bonne circulation d'air sans engendrer de courants d'air à la hauteur des animaux.

Les poches d'air stagnant ne posent pas problème quand les entrées d'air sont constituées de panneaux rabattables continus, à moins que le taux de renouvellement d'air ne soit extrêmement faible (p. ex. dans les poussinières où les poussins sont gardés au ras du sol). Si l'approvisionnement en air est assuré par des entrées d'air modulaires de plafond espacées de plus de 10 pi (3,0 m) de centre en centre, il y aura des zones d'air stagnant entre chaque entrée d'air. Pour une ventilation efficace, il faut que tout le volume d'air de la pièce soit mélangé. Installer un système de circulation d'air intérieur distinct dans le local pour assurer un mélange complet de l'air.

12.8.1 Mesure du débit d'air

Test de la fumée

Il y a un certain nombre de méthodes utilisées pour évaluer quantitativement et qualitativement le débit d'air. Les poires à fumée (de marques Draeger et Gastec, par exemple) sont d'excellents moyens de visualiser les déplacements d'air et d'en évaluer la vitesse.

Elles permettent de repérer :

- les entrées d'air mal réglées;
- les fuites autour des portes et les ventilateurs d'extraction qui ne sont pas en opération;
- les schémas généraux de circulation de l'air dans le local;
- les courants d'air qui se forment à la hauteur des animaux.

On obtient une bonne idée de la vitesse de l'air en pi/min en observant la distance parcourue par l'air pendant 6 secondes et en multipliant la distance obtenue par 10. Par exemple, si, dans un enclos, la fumée parcourt 5 pi en 6 secondes (1,5 m/6 sec), c'est dire que la vitesse de l'air y est de 50 pi/min (0,25 m/s), ce qui risque peu de soumettre les animaux à un courant d'air. Si la fumée parcourt 2 pi/sec (12 pi/6 sec), ou 120 pi/min (0,6 m/s), cette vitesse est de nature à soumettre les animaux sensibles à de forts courants d'air.

Les poires à fumée comme celle qui est illustrée à la figure 12.10 sont idéales pour analyser l'écoulement de l'air dans des zones circonscrites, en raison de la faible quantité de fumée générée par chaque bouffée de fumée. Elles donnent une bonne idée de l'écoulement de l'air, car la réaction chimique produit une fumée gris-blanc sans produire beaucoup de chaleur qui aurait pour effet de faire remonter l'air.

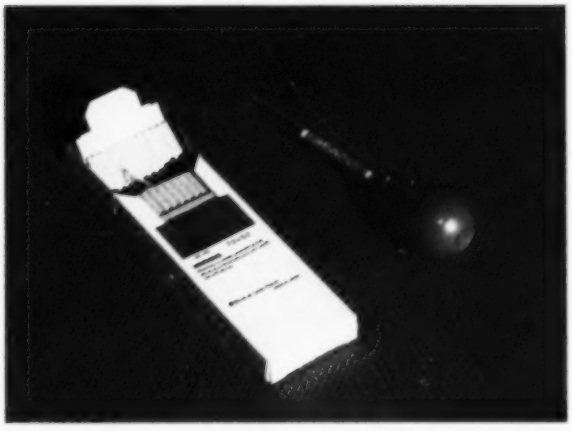


Figure 12.10 Poire à fumée utilisée pour déceler d'éventuels problèmes liés à l'écoulement de l'air

Figure 12.11 Brumisateur chasse-insecte utilisé pour générer d'importantes quantités de fumée

Parfois, il est avantageux de générer de grandes quantités de fumée, afin de visualiser le schéma de circulation de l'air dans l'ensemble du local. On utilise à cette fin un brumisateur au propane utilisé pour chasser les insectes (figure 12.11) en remplaçant l'insecticide par de l'huile végétale ou une huile minérale légère. On obtient ainsi un volume important de fumée. Le seul inconvénient, outre le danger d'incendie qui oblige à faire preuve de prudence dans l'utilisation de cet appareil, tient au fait que la fumée est générée par vaporisation d'huile, ce qui signifie que c'est une fumée chaude. Or, la fumée chaude a tendance à s'élever dans la pièce si la vitesse d'écoulement de l'air est faible, ce qui fausse un peu la réalité. Ce test est extrêmement utile pour étudier l'écoulement de masses d'air importantes dans les structures soumises à la ventilation transversale ou à la ventilation longitudinale. Au lieu d'utiliser de la fumée chaude, on peut se tourner vers le générateur de bulles d'air, un appareil (plus sécuritaire) qui permet aussi de visualiser l'écoulement de l'air sur une vaste superficie en créant des centaines de bulles formées à l'aide de détergent.

Le test de la fumée donne de meilleurs résultats avec de petits volumes de fumée (ou de bulles) qui ne remplissent pas la pièce au complet. Libérer la fumée par petits coups dans le local à l'étude et observer la direction que prend le nuage ainsi formé. Une bonne quantité de fumée est souhaitable pour étudier le schéma de circulation de l'air quand la ventilation fonctionne dans tout le local. Ainsi faut-il beaucoup de fumée pour observer le schéma de circulation de l'air quand tous les ventilateurs longitudinaux sont en marche. On remplit le local de fumée pour juger de l'efficacité du renouvellement d'air quand les ventilateurs fonctionnent à plein régime, mais cette méthode ne débouche que sur des données approximatives.

Le test de la fumée permet de constater que le système de ventilation fonctionne sur le principe de la dilution plutôt que des déplacements d'air. L'air frais entrant est mélangé avec l'air ambiant et distribué dans tout le local. La plupart des systèmes de ventilation procurent un mélange incomplet de l'air. Par conséquent, une partie de l'air neuf ne fait que rester très brièvement dans la pièce avant d'être évacué vers le ventilateur d'extraction le plus proche, tandis qu'une autre partie circule dans la pièce pendant une période prolongée avant d'être évacuée du bâtiment. Le processus de dilution contribue à maintenir un milieu animal plus stable et plus uniforme.

Anémomètres

Il existe un vaste éventail d'appareils portatifs pour :

- mesurer la vitesse réelle à laquelle l'air s'engouffre dans les entrées d'air;
- vérifier la vitesse de l'air dans les aires occupées par des animaux.

Ces appareils vont du simple anémomètre à palette bon marché aux anémomètres électroniques perfectionnés avec mémoire et possibilité de téléchargement des données (figure 12.12). Bon nombre de ces appareils mesurent aussi la température et l'humidité relative. Si les fournisseurs de matériel de ventilation ne tiennent pas nécessairement ce type d'appareils, ceux-ci sont faciles à obtenir de fournisseurs de matériel scientifique et de matériel de sécurité.

Figure 12.12 Anémomètre électronique servant à mesurer la vitesse d'écoulement de l'air

La vitesse d'écoulement de l'air aux entrées d'air détermine le schéma de circulation de l'air dans la pièce. La plupart des entrées d'air sont conçues pour des vitesses de l'air variant de 800-1 000 pi/min (4-5 m/s), vitesses nécessaires pour obtenir un bon mélange de l'air et créer un bon schéma de circulation de l'air. Dans les locaux abritant des animaux sensibles et les locaux étroits, on doit abaisser la vitesse d'admission d'air à aussi peu que 500 pi/min (2,5 m/s) pour éviter que les animaux ne soient soumis à des courants d'air. Dans ces cas, veiller à ce que la vitesse de l'air à la hauteur des animaux ne soit pas supérieure à 50 pi/min (0,25 m/s) afin de minimiser les chutes de température consécutives à des pertes de chaleur par convection. La plupart des animaux adultes tolèrent une vitesse de l'air de l'ordre de 50-100 pi/min (0,25-0,50 m/s) à leur hauteur pendant les trois saisons fraîches. Selon le gabarit de l'animal et l'épaisseur de sa robe ou de son plumage, les vitesses d'écoulement de l'air confortables à leur hauteur durant l'été vont de 100-500 pi/min (0,50-2,5 m/s); ces vitesses permettent de chasser la chaleur excédentaire produite par les animaux.

Une méthode rudimentaire permettant de vérifier la vitesse d'écoulement de l'air est de juger de l'effet produit par l'air qui frappe le revers d'une main mouillée. Le revers de la main est assez sensible aux déplacements d'air et la plupart des gens peuvent ressentir un refroidissement sur une main mouillée si la vitesse de l'air dépasse 50-60 pi/min (0,25-0,30 m/s). Si le bâtiment abrite des animaux sensibles, tout courant d'air ressenti sur le revers de la main est un indice que les courants d'air sont trop forts pour les animaux.

Manomètres de pression statique

La vitesse d'admission d'air est en lien direct avec la pression négative (effet de vide) créée dans la pièce par les ventilateurs d'extraction. Pendant les trois saisons fraîches, une vitesse d'admission d'air de 800-1 000 pi/min (4-5 m/s) s'assortit habituellement d'une pression statique de 0,07-0,08 po CE. Quand arrive les beaux jours, l'air étant moins dense et les taux de renouvellement d'air plus grands, la pression statique nécessaire pour obtenir la même vitesse d'admission d'air tombe à 0,04-0,06 po CE, selon le bâtiment et les conditions qui y règnent.

L'écart de pression statique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment est facile à mesurer à l'aide d'un manomètre à tube en U ou à l'aide d'un manomètre de pression statique. On dirige le tube haute pression ou pression atmosphérique vers le vide sous-toit afin de le soustraire aux effets du vent. On expose le tube basse pression (ou pression négative relative) à l'air ambiant, de sorte que les ventilateurs d'extraction aspirent le fluide (eau colorée) vers le haut (figure 12.13). Comme les écarts de pression sont infimes, ces manomètres possèdent un tube incliné qui permet d'amplifier le mouvement du liquide et de faciliter ainsi la lecture.

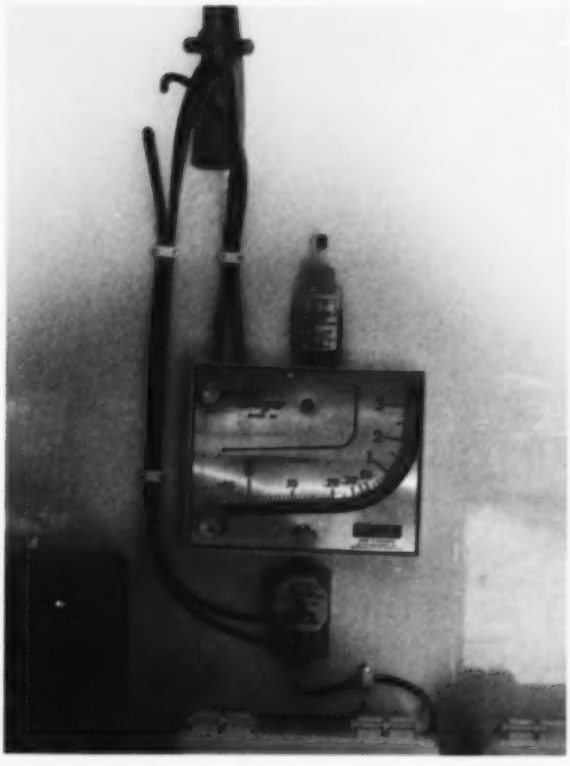


Figure 12.13 Manomètre de pression statique montrant une lecture courante dans un local d'élevage

Les tableaux 12.2 et 12.3 présentent de façon synoptique les problèmes courants que peut poser la ventilation par temps froid et par temps doux, et les solutions à y apporter.

Tableau 12.2 Diagnostic des anomalies de la ventilation par temps froid

Problème	Cause(s) possible(s)	Solutions
Mauvaise qualité d'air à la grandeur du bâtiment	Ventilation insuffisante ou intermittente	• S'assurer que rien n'entrave l'ouverture des volets. • Vérifier si de la glace empêche les rideaux ou panneaux de ventilation naturelle de s'ouvrir. • Opter pour un ou des ventilateurs d'extraction de palier 1 de moindre capacité afin qu'ils assurent une ventilation minimale en continu. • Si les animaux peuvent tolérer le froid, réduire la température de consigne du régulateur afin d'accroître le taux de renouvellement d'air.
	Capteur(s) de température mal placé(s) ou défectueux ou température de consigne mal choisie	• S'assurer qu'aucun capteur ne se trouve dans un courant d'air ou dans une poche d'air stagnant. • Vérifier le calibrage des capteurs à l'aide d'un thermomètre fiable. • S'assurer que les réglages du régulateur sont compatibles avec une ventilation minimale suffisante.
	Apport de chaleur insuffisant pour permettre à la ventilation de fonctionner en continu	• Activer le chauffage d'appoint.
	Ventilateurs d'extraction non protégés de la pression exercée par le vent Rideaux ou panneaux de ventilation naturelle exposés à de fortes pression dues au vent	• Installer des auvents ou des capots de ventilateurs afin d'éviter que le vent ne nuise à l'évacuation de l'air vicié. • Installer une bavette brise-vent devant la fente de la prise d'air ou une toile à ombrer dans la partie supérieure de la prise d'air afin d'amortir le vent.
	Taux élevé d'ammoniac produit par : • des planchers couverts de déjections • l'évacuation du fumier solide ou la vidange des caniveaux remplis de fumier liquide • l'utilisation d'une eau à pH élevé qui accroît la production d'ammoniac pendant la décomposition du fumier	• Garder les planchers exempts de déjections liquides. • Utiliser davantage de litière sur les planchers pleins et laver souvent les planchers à claire-voie; bien laver les planchers ou remplacer rapidement la litière souillée par de la litière fraîche faite de paille ou de copeaux; remettre en place les bouchons de caniveaux et laver à pression le local en laissant l'eau de lavage dans les caniveaux pour diluer le fumier. • Traiter l'eau avec un acide afin d'en abaisser le pH.
Mauvaise qualité d'air dans des zones circonscrites du bâtiment	Mauvaise distribution de l'air frais à l'intérieur du bâtiment	• Régler les entrées d'air ou en ajouter. • Étudier la possibilité d'ajouter du matériel de circulation d'air intérieur. • Boucher les fissures et les trous si le bâtiment est vieux.
Condensation sur les murs et au plafond	Isolation insuffisante	• Ajouter de l'isolant ou le remplacer. • Si les animaux peuvent tolérer des températures plus fraîches, abaisser la température et le taux d'humidité en augmentant le débit des ventilateurs d'extraction.
	Ventilation insuffisante	• Augmenter le débit minimal des ventilateurs d'extraction afin de chasser l'humidité; cette solution peut abaisser la température ambiante ou augmenter la consommation d'énergie.
	Apport de chaleur insuffisant pour la maîtrise de l'humidité à la température souhaitée	• Chauffer davantage, surtout si le local abrite de la volaille ou de jeunes animaux.
	Migration d'air presque saturé vers les parties plus froides du bâtiment	• Déplacer certains animaux à maturité vers les parties plus froides du bâtiment afin d'y élever la température. • Faire recirculer l'air afin d'éliminer les écarts de température. • Isoler l'endroit qui pose problème lorsqu'il n'est pas utilisé (p. ex. l'aire d'attente des vaches attenant à une salle de traite).

Condensation à proximité des entrées d'air seulement	Mélange insuffisant de l'air ambiant avec l'air froid entrant	• Si le brouillard ne se dissipe pas dans les premiers pieds de l'entrée d'air, installer un conduit de circulation d'air intérieur sous l'entrée d'air afin de faciliter le mélange des masses d'air.
Condensation à proximité des ventilateurs d'extraction seulement	Infiltrations d'air par les ventilateurs inutilisés qui servent à rafraîchir le bâtiment durant l'été Absence d'isolant dans le mur sur le pourtour de chaque ventilateur d'extraction ou panneau de ventilation naturelle	• Installer des couvercles de ventilateur isolés et en étanchéiser le pourtour, au besoin. • Installer de l'isolant dans le mur sur le pourtour des ventilateurs ou, dans les cas graves, envisager de faire injecter de l'isolant en mousse sur les parois murales.
Condensation observée sur les murs de fondation seulement	Murs de fondation non isolés (au contact de la surface froide, la température s'abaisse jusqu'au point de rosée) Circulation de l'air intérieur si mauvaise qu'il se crée un écart de température important	• Isoler les murs de fondation en béton jusqu'à obtenir un coefficient de résistance thermique de R 5 (RSI 0,9). • Améliorer la circulation de l'air intérieur par une augmentation de la pression statique ou l'installation d'un système de circulation de l'air intérieur.
Fluctuations de température importantes dans le local (p. ex. > 3 °C toutes les 10-30 minutes)	Ventilation excessive due à : • un ventilateur d'extraction assurant la ventilation minimale surdimensionné • des rideaux ou panneaux de ventilation naturelle ouverts trop grands ou trop longtemps • une capacité de ventilation excessive par palier de ventilation Capteurs de température défectueux (insensibles) ou mal placés pour refléter la température ambiante moyenne Mauvais réglages du régulateur de ventilation	• Réduire la vitesse minimale du ventilateur si celui-ci est à vitesse variable ou le relier à une minuterie commandée par le régulateur. • Installer un ou des ventilateurs de moins grande capacité. • Vérifier la largeur d'ouverture des rideaux pour chacun des cycles. • Répartir autrement le nombre de ventilateurs par palier de ventilation ou, par temps très froid, éteindre un ventilateur assurant la ventilation minimale (si plusieurs ventilateurs assurent la ventilation de palier 1). • Nettoyer ou remplacer les capteurs de température. • Éloigner les capteurs de température des sources de chaleur ou des courants d'air. • Vérifier les réglages du régulateur de ventilation et les modifier au besoin.
	Appareil de chauffage surdimensionné	• Réduire le taux d'allumage (taux variable auquel le gaz arrive au brûleur). • Remplacer l'appareil par un appareil plus petit ou deux appareils plus petits s'enclenchant suivant une séquence par palier.
Bâtiment trop froid, mais bonne qualité d'air	Ventilation excessive due à : • des capteurs de température mal calibrés ou défectueux, ou à une température de consigne trop faible dans le régulateur • un débit trop élevé des ventilateurs d'extraction	• Vérifier le ou les capteurs de température à l'aide d'un thermomètre précis, les nettoyer et les remplacer au besoin. • Réduire le taux de renouvellement d'air minimal si le ou les ventilateurs sont à vitesse variable, installer un ventilateur d'extraction de moindre capacité ou éteindre l'un des deux ventilateurs assurant la ventilation naturelle. • Limiter l'ouverture des rideaux ou panneaux de ventilation naturelle à moins de 0,5 po (1,3 mm) pour chaque cycle; vérifier les réglages du régulateur de ventilation et apporter au besoin des modifications pour éviter la surventilation par temps froid.
	Isolation insuffisante	• Isoler le bâtiment pour le garder plus chaud sans réduire le taux de renouvellement d'air.
	Manque de chaleur : • absence d'appareil de chauffage, ou appareil trop petit ou défectueux	• Accroître la densité d'occupation si le bâtiment est sous-utilisé. • Envisager l'installation d'une forme de chauffage d'appoint. • Accroître la capacité des appareils de chauffage. • Réparer ou remplacer les appareils de chauffage.

Tableau 12.2 Diagnostic des anomalies de la ventilation par temps froid (suite)

Problème	Cause(s) possible(s)	Solutions
Courants d'air	Entrées d'air ouvertes trop grandes, ce qui amène l'air à tomber directement au sol	• Réduire la largeur d'ouverture des entrées d'air afin que l'air s'engouffre plus rapidement et qu'il ait le temps de se mélanger avant de descendre à la hauteur des animaux ou des volailles.
	Obstacles au plafond déviant l'air vers le sol (problème d'autant plus aigu que le débit d'air est faible, p. ex. dans des locaux abritant des porcelets ou des veaux)	• Éliminer les obstacles au plafond ou en atténuer l'effet en laissant au moins 2 pi (0,6 m) de surface de plafond lisse devant chaque entrée d'air (p. ex. éloigner de l'entrée d'air le conduit suspendu au plafond). • Si le plafond est en tôle ondulée, orienter les ondulations dans le sens de l'écoulement de l'air.
	Ouvertures des entrées d'air trop étroites, amenant une trop grande accélération de la vitesse d'admission de l'air	• Augmenter la largeur d'ouverture de manière à obtenir un jet d'air suffisant et un bon mélange, mais une vitesse moindre qui permette à l'air de ralentir suffisamment sa course avant d'arriver à la hauteur des animaux.
	Absence de protection contre le vent (auvent, capot) au-dessus des prises d'air Absence de protection contre le vent des rideaux ou panneaux de ventilation naturelle	• Situer l'ouverture des prises d'air près de la bordure d'avant-toit, c.-à-d. à distance du mur latéral du bâtiment. • Restreindre (jusqu'à 80 %) l'admission d'air par temps froid à l'aide d'un panneau coulissant ou rabattable. • Durant l'hiver, puiser l'air frais dans le vide sous-toit, s'il faut maintenir une ventilation continue. • Installer une bavette brise-vent au-dessus des prises d'air de ventilation naturelle et/ou songer à installer une toile à ombrer dans la partie supérieure de la prise d'air.
	Infiltrations d'air dans un vieux bâtiment notamment par les portes et les fenêtres	• Colmater les fissures et les trous dans l'enveloppe, calfeutrer les portes et les fenêtres et recouvrir de couvercles de protection les ventilateurs d'extraction qui ne sont utilisés que pendant l'été.
	Systèmes de recirculation d'air (distribution) mécanique surdimensionnés, mal placés ou orientant mal l'air	• Découvrir le problème à l'aide d'une poire à fumée et, selon le cas, redimensionner ou repositionner les appareils ou diriger l'air autrement de manière à éliminer les courants d'air.
	Ventilation de palier 2 d'une trop grande capacité ou offrant un débit trop rapide, de sorte qu'elle introduit trop d'air froid et effectue des renouvellements d'air trop fréquents	• Réduire la vitesse minimale d'écoulement de l'air pour la ventilation de palier 2, si elle est assurée par des ventilateurs à vitesse variable ou, au besoin, remplacer les ventilateurs par des appareils de moins grande capacité.

Facture énergétique élevée pendant les trois saisons froides	Surventilation due à: • une ventilation minimale assurée par des ventilateurs surdimensionnés ou roulant trop rapidement • des rideaux ou panneaux de ventilation naturelle ouverts trop grands ou trop souvent	• Installer un ou des ventilateurs de plus petite capacité, réduire la vitesse de fonctionnement des ventilateurs ou subordonner la ventilation minimale à une minuterie. • Vérifier les réglages du régulateur de ventilation et les modifier au besoin.
	Surventilation causée par l'appareil de chauffage qui ne s'arrête pas avant d'atteindre la température de consigne	• S'assurer que le chauffage s'arrête à au moins 0,3 °C sous la température de consigne principale.
	Capteurs de température mal calibrés (indiquant une température trop faible) qui incitent le régulateur à commander un apport de chaleur non nécessaire	• Remplacer ou recalibrer le ou les capteurs de température.
	Enclenchement prématuré de la ventilation de palier 2 qui extrait de l'air pendant trop longtemps	• S'assurer que les températures de réglage de la ventilation de palier 2 sont supérieures à celles de la ventilation de palier 1.
	Ventilateurs inefficaces sur le plan énergétique	• Remplacer les vieux ventilateurs par des appareils plus éconergétiques (vérifier les taux d'efficacité énergétique exprimés en pi^3/min/W).

	Appareil de chauffage surdimensionné pour la grandeur de la pièce	• Réduire le taux variable auquel le gaz arrive au brûleur.
		• Remplacer l'appareil par :
		  ◦ un plus petit;
		  ◦ un appareil à deux paliers;
		  ◦ deux appareils plus petits permettant d'instaurer des séquences de chauffage.

	Chauffage excessif de grandes masses d'air pour s'assurer de températures élevées au ras du sol (p. ex. dans les poussinières).	• Installer un système de circulation de l'air intérieur afin de réduire au minimum la stratification des températures. • Améliorer l'isolation du plafond. • Envisager l'installation d'une source de chauffage par rayonnement permettant, au besoin, de chauffer des endroits précis du local.
	Pertes de chaleur par l'enveloppe du bâtiment occasionnées par le maintien de températures élevées à l'intérieur	• S'assurer que l'enveloppe du bâtiment est bien isolée; calfeutrer toutes les portes et les fenêtres et installer des couvercles de ventilateur isolés sur tous les ventilateurs utilisés uniquement durant l'été. • Envisager l'installation d'une source de chauffage par rayonnement permettant, au besoin, de chauffer des endroits précis du local. • Abaisser la température de consigne au fur et à mesure que les animaux ou les oiseaux grossissent, en visant une productivité optimale et des dépenses de chauffage minimales.
	Bâtiment mal isolé bénéficiant d'une installation de chauffage qui est dimensionnée en fonction d'une journée d'hiver moyenne et qui est par conséquent surdimensionnée pendant le reste de l'année	• Isoler le mieux possible le bâtiment. • Installer un appareil de chauffage à 2 paliers ou 2 petits appareils pouvant être mis en marche en séquence. • Envisager d'installer un appareil récupérateur de chaleur afin de tirer parti d'une partie de la chaleur contenue dans l'air extrait. • Envisager de recourir à une forme ou une autre d'énergie verte comme source de chauffage d'appoint (p. ex. panneaux solaires passifs, géothermie ou énergie tirée de la biomasse).

Tableau 12.3 Diagnostic des anomalies de la ventilation par temps doux

Problème	Cause(s) possible(s)	Solutions
Température trop élevée à l'intérieur comparativement à la température extérieure	Renouvellement d'air insuffisant dû à : • un ou des ventilateurs qui ne fonctionnent pas • une capacité de ventilation insuffisante • des ventilateurs encrassés au niveau des volets, des pales ou des grilles	• Vérifier les moteurs des ventilateurs et les remplacer au besoin. • Vérifier les réglages du régulateur commandant la ventilation. • Vérifier si le ou les capteurs de température sont bien calibrés et fonctionnent correctement. • Accroître la capacité de ventilation globale. • Nettoyer toutes les parties des ventilateurs.
	Écoulement de l'air entravée entre les prises d'air et les entrées d'air : • l'air chaud du vide sous-toit se trouve aspiré à l'intérieur, l'ouverture ou la superficie des prises d'air étant insuffisante	• Augmenter la superficie des prises d'air à l'extérieur du bâtiment. • Installer des plaques de retenue verticales entre les fermes de manière à empêcher l'air du vide sous-toit de retourner dans l'entrée d'air (ne laisser qu'un espace libre de 1,0 po ou 25 mm pour la ventilation du vide sous-toit).
	Communication de la chaleur du vide sous-toit au reste du bâtiment due à : • une isolation et/ou une ventilation déficiente du vide sous-toit • une toiture foncé (non réfléchissante)	• Améliorer l'isolation du vide sous-toit et en assurer une ventilation convenable par des entrées d'air suffisantes aux avant-toits et au faîte ou aux pignons. • Envisager de peindre la toiture en blanc ou d'y appliquer une peinture céramique pour réfléchir la lumière du soleil, ou installer une nouvelle toiture dont la surface réfléchit les rayons du soleil.
	Densité d'occupation excessive	• Réduire (si possible) la densité d'occupation du bâtiment durant l'été.
Air trop chaud par endroits à l'intérieur	Entrées d'air ouvertes trop grandes, ce qui nuit au bon fonctionnement du ou des ventilateurs d'extraction, ou entrées d'air concentrées Absence d'apport d'air frais dans des zones précises (zones d'air stagnant)	• Réduire la largeur d'ouverture des entrées d'air afin que l'air puisse atteindre tous les recoins du local (fermer les portes qui pourraient avoir été laissées ouvertes, de manière à tirer pleinement parti de la capacité d'admission de l'air des entrées d'air). • Augmenter la capacité d'admission de l'air dans les zones d'air stagnant ou envisager d'installer un système de circulation de l'air intérieur.
Température ambiante dépassant la température souhaitable pour les animaux ou les oiseaux	Élévation de la température au delà de la zone thermoneutre des animaux ou des oiseaux, ce qui amène les oiseaux ou animaux à présenter des signes de stress thermique (p. ex. halètement, léthargie, perte d'appétit)	• Installer un système de refroidissement par brumisation au lieu d'accroître la capacité des ventilateurs au delà des capacités normales, afin de permettre le refroidissement des surfaces du corps par évaporation. • Recourir à des systèmes de refroidissement de l'air par évaporation si l'humidité relative est habituellement faible. • S'abstenir d'installer de l'isolant sous les planchers de béton où séjournent les animaux.
Fluctuations excessives des températures quotidiennes dans le bâtiment et/ou problèmes de courants d'air	Température de consigne du régulateur de ventilation trop basse Différentiel de température total trop étendu	• Hausser la température de consigne (valable pour la plupart des bâtiments) afin qu'elle reflète une température plus élevée qui est acceptable par temps doux. • S'assurer que les gros ventilateurs utilisés l'été se mettent en marche assez tôt sans toutefois continuer à fonctionner trop longtemps en soirée, une fois que les températures commencent à baisser.
Bâtiment trop froid	Ventilateurs d'été qui se mettent en marche prématurément et qui continuent de fonctionner trop longtemps Température de consigne du régulateur de ventilation trop basse Différentiel de température total trop étroit Capteurs de température mal calibrés ou défectueux	• Hausser la température de consigne de 1 à 3 °C par rapport à la température de consigne utilisée par temps froid. • Accroître l'étendue du différentiel de température total. • Vérifier les capteurs de température à l'aide d'un bon thermomètre et les remplacer au besoin.

Air ambiant sec et poussiéreux (problème se posant dans certaines installations d'élevage de volaille)	Litière sèche, ventilation abondante, faible densité d'occupation du local	• Installer un système de refroidissement par brumisation pour limiter la poussière et atténuer le stress thermique.
Facture énergétique élevée par temps chaud	Surventilation	• Calculer le taux de renouvellement d'air total et envisager de le réduire s'il dépasse 1,5 renouvellement d'air par minute (sauf si l'on a affaire à un élevage de pondeuses à haute densité en batteries de cages, auquel cas le taux passe à 2 renouvel./min).
	Utilisation de ventilateurs d'ancienne génération peu éconergétiques	• Remplacer les ventilateurs existants par des appareils dotés de moteurs éconergétiques qui affichent un meilleur taux d'efficacité énergétique (davantage de pi^3/min/W).
	Utilisation de nombreux ventilateurs d'extraction	• Évaluer les paliers de ventilation et la capacité de ventilation à chacun; privilégier les ventilateurs de fort diamètre roulant à basse vitesse durant l'été de manière à obtenir davantage de pi^3/min/W avec moins de ventilateurs. • Dans le cas d'un bâtiment neuf, recourir à la ventilation mixte ou à la ventilation naturelle plutôt qu'à la ventilation mécanique uniquement.

Table des matières

Annexes

Annexe A – Glossaire 289
Annexe B – Taux de renouvellement d'air 295
Annexe C – Valeurs de calcul de l'installation de ventilation 297
Annexe D – Tables de T 299
Annexe E – Facteurs de conversion 301

Annexe A – Glossaire

Aérotherme – Un aérotherme est un appareil de chauffage par air chaud en forme de boîte carrée ressemblant à une chaufferette de chantier.

Capteur de température – Dispositif électronique qui transmet au régulateur de ventilation un signal lui indiquant la température qu'il fait.

Capteur d'humidité – Capteur électronique qui est conçu pour mesurer l'humidité relative dans le local ou le bâtiment d'élevage et qui transmet un signal au régulateur de la ventilation.

Chaleur latente – Énergie absorbée ou libérée par une substance pendant un changement de phase (appelé aussi changement d'état) (p. ex. l'énergie nécessaire au passage d'une substance de l'état liquide à l'état gazeux). Dans un bâtiment d'élevage, les sources de chaleur latente sont principalement la condensation de la vapeur d'eau produite par la respiration des animaux ou la vaporisation (transformation en vapeur) des liquides présents sur les planchers mouillés ou dans les structures de stockage du fumier.

Chaleur sensible – Quantité de chaleur correspondant à une variation de la température de la pièce.

Chauffage à deux niveaux de puissance – Installation de chauffage offrant deux niveaux de puissance calorifique : puissance élevée (high) pour les froids très intenses, et puissance réduite (low) pour le reste de la saison de chauffe. La plupart de ces installations sont conçues pour fonctionner pendant au plus 10 % de la saison de chauffe à puissance élevée et pendant les 90 % restant de la saison de chauffe à puissance réduite.

Chauffe-eau à eau chaude – Chauffe-eau fonctionnant à basse pression et conçus pour maintenir l'eau sous le point d'ébullition.

Circuit de circulation primaire – Circuit de circulation assurant le mélange de l'air qui se crée dans le local ou le bâtiment d'élevage par l'introduction d'air frais à travers les entrées d'air commandées. Le circuit de circulation primaire se situe normalement du côté du local ou du bâtiment où se trouve l'entrée d'air.

Coefficient de résistance thermique (valeur R dans le système impérial ou valeur RSI dans le système international) – Dans le système impérial, la valeur R mesure la résistance à la perte de 1 BTU en 1 heure de 1 pied carré d'un matériau soumis à une baisse de température de 1 degré Fahrenheit. La valeur R mesure la résistance à la transmission de la chaleur en tenant compte de la surface exposée, de la différence de température entre deux surfaces et du temps nécessaire pour que le transfert de chaleur se produise.

Conduction – Mode de transfert thermique caractérisé par l'énergie qui passe d'un corps à un autre, par contact.

Convection – Mode de transfert thermique caractérisé par le déplacement d'un fluide, notamment un liquide, un gaz et un mélange multiphases.

Courbe des températures – Courbe formée par une série de points programmés correspondant aux températures souhaitées à des moments précis du séjour des animaux dans le local (p. ex. dans la conduite en bande) eu égard au taux d'engraissement des animaux et à la température minimale requise (température de consigne principale). Le régulateur abaisse automatiquement la température de consigne principale chaque jour en suivant la courbe des températures programmée dans le système.

Courbe de ventilation minimale – Courbe formée par une série de points programmés correspondant aux vitesses minimales de rotation d'un ventilateur à vitesse variable à des moments précis du séjour des animaux dans le local, eu égard au taux d'engraissement des animaux et à la ventilation minimale requise pour obtenir un niveau d'humidité acceptable dans le local.

Courroie à mailles amovibles – Courroie de transmission à mailles individuelles de polyuréthane amovibles. Les courroies peuvent être reliées en place, ce qui fait économiser le temps autrement employé à démonter les mécanismes d'entraînement ou les poulies. Ce type de courroie a tendance à produire moins de bruit et de vibrations que la courroie trapézoïdale ou courroie en V classique.

Décalage de la température de consigne relative pour le chauffage – Écart de température programmé entre la température de consigne principale et la température provoquant l'arrêt du chauffage.

Décibel – Unité de puissance sonore (symb. dB). Sur l'échelle des décibels, 0 dB correspond au seuil d'audibilité (silence quasi-total). Un niveau sonore de 10 dB est dix fois plus puissant. Un niveau sonore de 20 dB est 100 fois plus puissant que le silence quasi-total. Un niveau sonore de 30 dB est 1 000 fois plus puissant que le silence quasi-total.

À titre de repère :

0 dB	Silence quasi-total
15 dB	Murmure
60 dB	Conversation normale
90 dB	Tondeuse à gazon
110 dB	Klaxon
120 dB	Concert rock ou moteur à réaction
140 dB	Coup de feu ou feu d'artifice

Différentiel – Dans le cas d'un ventilateur à vitesse variable, écart entre les températures déclenchant les vitesses minimale et maximale. S'entend aussi de l'écart entre les températures d'enclenchement et de déclenchement d'un dispositif comme un ventilateur ou un appareil de chauffage.

Différentiel de température pour le chauffage – Écart entre les températures d'enclenchement et de déclenchement du chauffage. Le différentiel correspond à l'élévation de température que l'appareil de chauffage doit procurer avant de s'éteindre.

Durée d'ouverture – Dans un bâtiment d'élevage bénéficiant d'une ventilation naturelle, durée pendant laquelle on laisse fonctionner les actionneurs de rideaux (ouverture des rideaux pour accroître la taille des ouvertures et laisser entrer davantage d'air frais), à partir du moment où le régulateur détermine que la température à l'intérieur du bâtiment est supérieure au point de consigne prédéterminé.

Durée de fermeture – Dans un bâtiment d'élevage bénéficiant d'une ventilation naturelle, durée pendant laquelle on laisse fonctionner les actionneurs de rideaux (fermeture des rideaux pour réduire la taille des ouvertures, ralentir le refroidissement), à partir du moment où le régulateur détermine que la température à l'intérieur du bâtiment est inférieure à la température de consigne.

Effet de corps noir – Effet du rayonnement thermique vers l'espace de la surface d'un corps au sol, qui abaisse la température à l'intérieur du corps en dessous de la température ambiante.

Effet Venturi – Écoulement de l'air perpendiculairement à la direction du vent à la sortie d'une tubulure ou d'une cheminée. Cet effet crée une zone de pression négative à la sortie de la tubulure ou de la cheminée. L'air provenant de l'autre extrémité de la tubulure ou de la cheminée se précipite dans cette zone pour équilibrer la pression. L'effet Venturi peut faire en sorte que davantage d'air qu'il ne faut s'échappe du local ou du bâtiment d'élevage.

Émissivité – Rapport entre l'énergie qu'un matériau rayonne et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. C'est donc une mesure de la capacité d'un corps à absorber et à réémettre l'énergie rayonnée. En général, plus le matériau est mat et plus il est foncé, plus son émissivité se rapproche de 1. Plus un matériau est réfléchissant, moins son émissivité est grande. L'émissivité de presque tous les matériaux s'accroit avec la température. L'émissivité est une grandeur adimensionnelle.

Entrée d'air – Dispositif qui est fixé sur la paroi intérieure d'une prise d'air et qui permet de régler le volume, la vitesse et la direction de l'air frais entrant.

Évaporation – Transformation d'un liquide en vapeur. Il faut 1 000 BTU d'énergie pour transformer 1 lb d'eau de l'état de liquide à l'état de vapeur.

Hystérésis – Valeur utilisée pour maintenir les ventilateurs ou appareils de chauffage en marche pendant un délai raisonnable et éviter qu'ils ne soient mis en marche et arrêtés trop rapidement. À titre d'exemple, un ventilateur d'extraction qui démarre à 21 °C pourra se voir attribuer une valeur d'hystérésis de 0,5 °C, ce qui signifie qu'il ne s'arrêtera pas tant que la température ambiante ne sera pas descendue à 20,5 °C.

Interrupteur ou commutateur à diode – Dispositif à semi-conducteur conçu pour permettre au courant de circuler en une seule direction. Peut provoquer une chute de tension dans le circuit.

Mécanisme d'entraînement à fréquence variable – Dispositif électronique qui modifie la vitesse d'un moteur en faisant varier la fréquence de la tension d'alimentation. En ne recourant pas à une commande impulsionnelle comme le fait le triac, ce dispositif assure un fonctionnement très stable du moteur en dépit de pressions plus élevées et de l'effet du vent.

Pas d'un ventilateur – Angle de la pale par rapport au moyeu. Le pas est la longueur théorique du déplacement d'air pendant que l'hélice réalise un tour complet, à une pression statique de zéro.

Plafond poreux – Type de plafond d'amenée d'air laissant pénétrer l'air par une partie ou la totalité du plafond. L'air frais est introduit dans le vide sous-toit ou un compartiment distinct au-dessus du plafond, puis est soufflé à travers le plafond par des ventilateurs. Le plafond peut être composé de panneaux espacés revêtus de fibre de verre, de panneaux de soffite de vinyle perforés recouverts de fibre de verre ou de canaux de ventilation à panneaux perforés. La surface du plafond est conçue pour permettre à l'air frais de s'infiltrer lentement à travers celui-ci de manière à éviter la création de courants d'air.

Poche d'air stagnant – Poche d'air résultant de l'absence d'entrée d'air dans une zone donnée. Des poches d'air stagnant se forment souvent entre les entrées d'air modulaires, lorsque celles-ci sont installées à plus de 10 pi (3 m) les unes des autres, ce qui empêche les trajectoires de circulation de l'air provenant de chaque entrée d'air de converger avant de traverser les zones occupées par les animaux.

Point de rosée – Température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans une masse d'air commence à se condenser sur une surface.

Poussée thermique (effet de tirage) – Phénomène découlant du fait que l'air chaud est moins dense que l'air froid et tend naturellement à s'élever.

Prise d'air – Ouverture pratiquée dans l'enveloppe extérieure d'un bâtiment pour permettre à l'air frais d'y pénétrer.

Rayonnement – Mode de transfert thermique par l'émission ou la transmission d'ondes électromagnétiques. Cette transmission d'énergie peut se réaliser dans le vide.

Réflectivité – Fraction de l'énergie rayonnée incidente réfléchie par une surface. La réflectivité est une propriété directionnelle qui dépend de l'angle de réflexion, de l'angle d'incidence et de la longueur d'onde de l'onde incidente.

Refroidissement éolien – Augmentation de la sensation de froid ressentie en présence de vent.

Régime permanent – Niveau de combustion idéal qu'atteint généralement un appareil de chauffage (p. ex. chauffe-eau ou générateur d'air chaud au gaz ou au mazout) une dizaine de minutes au moins après sa mise en marche.

Régulateur de type PID (proportionnel, intégral, dérivé) – Mécanisme de rétroaction à boucle de régulation générique (régulateur) largement utilisé dans les systèmes de régulation industriels. Le régulateur de type PID cherche à corriger l'écart entre une variable de processus mesurée et un point de consigne prédéterminé en calculant puis en effectuant une correction permettant de modifier rapidement la variable de processus de manière à réduire l'écart au minimum.

Rideau pare-vent – Rideau monocouche ou multicouche servant à recouvrir les ouvertures pratiquées dans les murs pour assurer la ventilation naturelle. Il peut s'agir d'une toile faite de fils plastiques tissés ou d'une bâche de plastique à armatures textiles. Le matériau utilisé est traité pour résister aux rayons UV du soleil.

Section contractée – Résistance à l'écoulement d'un fluide (p.ex. air, eau) à travers un orifice. Le fluide s'écoule plus facilement au milieu de l'orifice et plus difficilement près des contours. En raison de ce phénomène, les concepteurs considèrent normalement qu'un fluide ne circule efficacement que dans au plus 75 % de la section d'un orifice.

Seuil thermique critique – Température sous laquelle les animaux commencent à utiliser l'énergie que leur procure leur ration pour se réchauffer, ce qui entraîne un gaspillage d'aliments et ralentit la vitesse de croissance.

Stratification – Formation de couches ou strates d'air à différentes températures résultant de la tendance à l'air chaud de s'élever du fait de la poussée thermique. On trouve ainsi l'air le plus chaud près du plafond, l'air à température moyenne à mi-hauteur de la pièce et l'air froid au ras du sol.

Stress thermique – Perturbation amenant l'animal à cesser de s'alimenter et causant une élévation de sa température interne au delà des limites normales pour un animal homéotherme. L'animal devient haletant, une réaction destinée à faire baisser le plus possible la chaleur interne. Au fur et à mesure que la chaleur du corps s'élève, un certain nombre de changements physiologiques se produisent, notamment une augmentation du pH sanguin attribuable à un excès de dioxyde de carbone. À défaut de soulager l'animal, la mort s'ensuit dans un délai très bref (habituellement inférieur à 15 minutes).

Système à pression négative – Système de ventilation mécanique qui utilise des ventilateurs uniquement pour évacuer l'air. Le fonctionnement des ventilateurs a pour effet d'abaisser la pression atmosphérique à l'intérieur du local à un niveau légèrement inférieur à la pression atmosphérique qui règne à l'extérieur. Du fait de cette pression négative, l'air frais de l'extérieur pénètre dans le local et cherche à équilibrer les pressions.

Système à pression neutre – Système de ventilation mécanique qui utilise des ventilateurs à la fois pour évacuer l'air à l'extérieur et pour faire entrer de l'air frais à l'intérieur. Ce type de système assure une circulation d'air à l'intérieur avec peu sinon aucune différence de pression statique entre l'extérieur et l'intérieur.

Système à pression positive – Système de ventilation mécanique qui utilise des ventilateurs uniquement pour faire pénétrer de l'air frais dans le local ou le bâtiment d'élevage. Le fonctionnement des ventilateurs d'aspiration amène une augmentation de la pression statique à l'intérieur du local qui devient supérieure à la pression atmosphérique qui règne à l'extérieur. Par conséquent, l'air cherche à s'échapper par toute ouverture de manière à équilibrer les pressions.

Système de ventilation mixte – Système de ventilation ayant recours à la fois à la ventilation naturelle et à la ventilation mécanique pour gérer la qualité de l'air dans le bâtiment d'élevage.

Tables de T pour le chauffage – Tables procurant une valeur approximative permettant de déterminer les charges de chauffage en fonction des élevages. Dans tous les cas, il est recommandé de procéder à une analyse plus complète des pertes de chaleur.

Température de consigne principale – Température de référence ou de base servant à programmer le régulateur de la ventilation. Cette température correspond normalement à la température la plus basse qui est acceptable en fonction de l'élevage.

Température de consigne relative – Écart de température programmé dans le régulateur de ventilation, au-dessus ou au-dessous de la température de consigne principale, qui provoquera le passage à un autre palier de ventilation (p. ex. +2,0 °C) ou le démarrage du chauffage (p. ex. - 2,0 °C).

Température de l'équilibre thermique – Température extérieure à laquelle la ventilation est minimale et maintient la température de consigne dans le local ou le bâtiment d'élevage sans apport de chaleur supplémentaire.

Triac (acronyme formé à partir de l'expression « Triode Alternative Current » – Interrupteur qui coupe et rétablit rapidement la tension de commande d'un circuit de ventilateur afin de réduire la consommation d'énergie alimentant un moteur.

Turbulateur – Dispositif servant à accroître la turbulence de l'écoulement au-dessus d'un objet et contribuant ainsi à accroître l'efficacité des échanges thermiques par convection.

Ventilation en fonction de la courbe de croissance – Ventilation réglée par un régulateur programmé à partir d'une série de valeurs prédéterminées de manière à hausser quotidiennement le taux de renouvellement d'air minimal en fonction de l'accroissement de l'humidité produite par les animaux au fur et à mesure de leur croissance. Utilisée dans la conduite en bande.

Zone d'insensibilité ou décalage – Écart minimal de températures (0,3-0,5 °C) dans le local ou le bâtiment d'élevage qui n'entraîne aucun changement du point de vue de la régulation de la ventilation, c.-à-d. qu'aucun appareil (ventilateur, appareil de chauffage ou autre) n'est mis en marche ni éteint. Cette zone permet aux appareils déjà en marche de continuer à fonctionner et à réguler les conditions du local, afin de procurer un milieu plus stable pour les animaux qui s'y trouvent.

Annexe B – Taux de renouvellement d'air

Taux de renouvellement d'air recommandés en fonction de l'élevage

Type d'élevage		Taux (pi^3/min/animal)	
		Temps froid	Temps doux
Bovins de boucherie	Veaux d'embouche (< 3 mois)	10[a]	120
	Veaux destinés à la production de viande de veau	12[a]	175
	Bovins à l'engrais	15	300
	Vaches de boucherie (450 kg)	20	400
Poulets	Pondeuses	0,30	6,0[b]
	Poulettes de remplacement	0,08-0,30	5,0
	Sujets reproducteurs de type poulets à griller	0,40	8,0[c]
	Poulets à griller	0,08-0,80	7,0[c]
Bovins laitiers	Veaux (< 1 mois)	10[a]	100
	Veaux (1–3 mois)	12[a]	120
	Génisses (3–12 mois)	15[a]	150
	Génisses (12–24 mois)	20	200
	Vaches de petit format (p. ex. Jersey)	25	400
	Vaches de grand format (p. ex. Holstein)	40	600
Chèvres	Chèvres et boucs adultes	8[a]	120
	Chevreaux	2[a]	25
Chevaux	Races de petit format (< 400 kg)	20[a]	200
	Races de grand format (> 400 kg)	30[a]	300
Lapins	Femelles et portées	0,5[a]	15
	Lapins de marché	0,1[a]	10
Moutons	Brebis et béliers	10[a]	120
	Agneaux d'engraissement	3[a]	40
Porcs	Truies reproductrices et gestantes	10	200
	Truies à la maternité et portées	15	400
	Porcelets en pouponnière (4–25 kg)	1,0-3,0[a]	15-35[d]
	Porcs à l'engrais (25–60 kg)	4,0-6,0	50-70
	Porcs de finition (60–120 kg)	6,0-8,0	70-90
Dindons	Sujets reproducteurs de type dindons à griller	1,0-2,0	25-35[c]
	Dindes et dindons à griller (0–8 kg)	0,08-0,60	20[c]
	Dindes et dindons lourds à griller (8–12 kg)	0,60-1,0	25[c]
	Dindons lourds mâles (18–24 kg)	1,0-1,5	30[c]

[a] Pour avoir une qualité d'air suffisamment bonne, il se peut qu'il faille hausser ce taux de renouvellement d'air minimal pour la ventilation durant l'hiver de manière à garantir au moins 3 et idéalement 4 renouvellements d'air par heure.

[b] Ce taux de renouvellement d'air applicable à la ventilation estivale peut devoir être haussé de manière à garantir au moins 1,5 ou idéalement 2 renouvellements d'air par minute durant les grandes chaleurs de l'été.

[c] Durant l'été, veiller à ce que le taux de renouvellement d'air soit d'au moins 1 renouvellement d'air par minute.

[d] Limiter le taux de renouvellement d'air durant l'été à 1 par minute dans les bâtiments abritant des animaux sensibles.

Annexe C – Valeurs de calcul de l'installation de ventilation

Prises d'air – Ensemble, les ouvertures pratiquées dans l'enveloppe extérieure du bâtiment procurent au moins :

- 2,0 pi^2 par tranche de 1 000 pi^3/min de capacité des ventilateurs;
- 2,2 pi^2 par tranche de 1 000 pi^3/min si des cache-jour sont placés sur les prises d'air;
- 2,5 pi^2 par tranche de 1 000 pi^3/min si des tapis humides sont installés sur les prises d'air.

Entrées d'air – Ensemble, les ouvertures pratiquées dans les murs ou au plafond pour faire entrer l'air et le diriger à l'aide de panneaux rabattales :

- représentent jusqu'à 2,0 pi^2 par tranche de 1 000 pi^3/min de capacité des ventilateurs; et
- sont conçues pour des vitesses d'admission d'air variant entre 1 000 pi/min (par temps froid) et environ 500 pi/min (l'été), selon la période de l'année et le type ainsi que le gabarit des animaux; les panneaux rabattables sont choisis en fonction du débit d'air recherché.

Conduits de recirculation destinés à augmenter la puissance du jet d'air frais

Dimensionnement de ces conduits

- Aperçu des critères de conception à utiliser dans le dimensionnement des conduits :
  - une capacité lui permettant d'écouler trois fois le débit minimal prévu par temps froid;
  - une capacité lui permettant d'atteindre un débit de 0,5-1,5 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher;
  - une capacité permettant de réaliser 3-4 renouvellements d'air par heure;
  - une vitesse d'écoulement maximale dans les conduits de 800-1 200 pi/min

Trous de distribution de l'air percés dans ces conduits

- Aperçu des critères de conception à utiliser dans le dimensionnement des trous de distribution de l'air percés dans ces conduits :
  - une vitesse de jet d'air de 1 000 pi/min à chaque trou;
  - des trous de diamètres variant selon la portée du jet d'air comme suit :
    - portée de 6 pi : diamètre de 0,50 po ou l'équivalent
    - portée de 8 pi : diamètre de 0,75 po ou l'équivalent
    - portée de 10 pi : diamètre de 1,00 po ou l'équivalent
    - portée de 12 pi : diamètre de 1,25 po ou l'équivalent
    - portée de 14 pi : diamètre de 1,50 po ou l'équivalent
    - portée de 16 pi : diamètre de 1,75 po ou l'équivalent
    - portée de 20 pi : diamètre de 2,00 po ou l'équivalent
  - l'espacement idéal des trous est inférieur à 12 po de centre à centre, mais un espacement allant jusqu'à 24 po de centre à centre est acceptable.

Ventilateurs de circulation intérieurs

- Aperçu des critères de conception à respecter dans le dimensionnement de ces ventilateurs :
  - une capacité de circulation d'air totale de 1-3 pi^3/min/pi^2 de surface de plancher;
  - un ventilateur par tranche de 1 500-2 500 pieds carrés de surface de plancher;
  - un espacement maximal des ventilateurs de circulation de 100 pi, en privilégiant un espacement de 60-90 pi;
  - une capacité de soufflage individuelle des ventilateurs fonctionnant à plein régime limitée à une plage de 3 000-5 000 pi^3/min pendant les trois saisons plus froides;
  - chaque ventilateur mû par un moteur à vitesse variable permettant de bien régler le débit d'air.

Vitesse d'admission de l'air dans les entrées d'air

- Faire en sorte qu'en hiver, la vitesse d'admission de l'air dans les entrées d'air soit de 800 à 1 000 pi/min. Dans les petits locaux, s'il n'est pas nécessaire de propulser l'air aussi loin, envisager de réduire la vitesse d'admission de l'air dans les entrées d'air à 600-800 pi/min.
- L'été, cette vitesse devrait être de 500–600 pi/min.

Ventilation naturelle

Fentes d'aération sur les murs latéraux

- Les fentes d'aération installées sur les murs latéraux de part et d'autre du bâtiment doivent représenter au moins 5 % de la surface de plancher.

Aérateurs de faîte

- La largeur de l'ouverture correspond à environ 1-2 po/10 pi de largeur du bâtiment (25-50 mm/3 m).
- Les côtés de cheminées d'une hauteur égale à 1,5-2,0 fois la largeur de l'ouverture au faîte font profiter le bâtiment d'un effet de tirage accru.
- Un toit plat au-dessus de l'ouverture au faîte, offrant un dégagement égal à au moins la largeur de l'ouverture, a pour effet de réduire la quantité de pluie qui entre dans le bâtiment, sans compromettre l'évacuation de l'air vicié.
- Les aérateurs de faîte doivent s'arrêter à 8 pi (2,4 m) des deux extrémités du bâtiment, afin de prévenir les courants d'air descendants.

Cheminées

- La section de cheminée doit être égale à au moins :
  - 0,5 pi^2 (0,05 m^2) par tranche de 100 pi^2 (10 m^2) de surface de plancher, s'il s'agit d'un bâtiment à un seul étage, et
  - 1 pi^2 (0,1 m^2) par tranche de 100 pi^2 (10 m^2) de surface de plancher, s'il s'agit d'un bâtiment à deux étages de type grange-étable et que la cheminée traverse le grenier.
- Il est recommandé de construire une cheminée pour chaque tranche d'au plus 2 000 pi^2 (190 m^2) de surface de plancher.
- Espacer les cheminées d'au plus 50 pi (15 m) les unes des autres, l'espacement optimal étant de 20-40 pi (4-12 m).

Annexe D – Tables de T

Exigences de chauffage approximatives pour les élevages de volaille – Bâtiment bien isolé, litière sèche, taux de renouvellement d'air indiqués

Type d'élevage	Taux de renouvellement d'air minimal (pi^3/min/oiseau)	Chauffage d'appoint (BTU/h/oiseau)				
		-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C
Poulets à griller						
Accouvage	0,04	20	15	10	8	5
2 semaines (0,5 lb)	0,08	11	9	5	3	0
6 semaines (3,7 lb)	0,30	8	0	0	0	0
10 semaines (6,5 lb)	0,60	13	0	0	0	0
Troupeaux de reproducteurs de type poulets à griller						
Races légères	0,40	10	1	0	0	0
Races lourdes	0,50	20	8	0	0	0
Poules pondeuses						
Poulettes de remplacement dans des poussinières en cages	0,04	12	10	8	6	4
2 semaines	0,08	9	7	5	3	0
6 semaines	0,30	2	0	0	0	0
Pondeuses en cage	0,40	0	0	0	0	0
Dindons						
Accouvage	0,06	30	24	20	15	10
2 semaines	0,12	20	15	10	6	2
8 semaines	0,40	10	2	0	0	0
14 semaines	0,70	5	0	0	0	0
18 semaines (17 lb)	1,00	60	25	0	0	0
22 semaines (20 lb)	1,30	84	42	0	0	0
Troupeaux de dindes et dindons reproducteurs						
Dindes légères (13 lb)	1,00	60	30	2	0	0
Dindons légers (20 lb)	1,30	90	55	10	0	0
Dindes lourdes (17 lb)	1,00	70	35	2	0	0
Dindons lourds (28 lb)	2,00	140	90	30	0	0

Exigences de chauffage approximatives pour les élevages de porcs – Bâtiment bien isolé, taux de renouvellement d'air indiqués

Type de local et poids des porcs	Taux de renouvellement d'air minimal (pi^3/min/porc)	Chauffage d'appoint (BTU/h/porc)				
		-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C
Aire de gestation ou de reproduction	10,0	500	250	0	0	0
Maternité (truie et portée)	17,0	1 000	600	200	0	0
Local abritant les porcelets sevrés						
4 kg	1,3	225	180	130	90	60
7 kg	1,7	170	120	75	60	45
14 kg	2,2	110	70	30	10	6
21 kg	2,5	50	25	0		
30 kg	3,0	0				
Local d'engraissement et de finition						
25 kg	3,0	220	110	0	0	0
40 kg	4,0	110	0	0	0	0
60 kg	5,0	0	0	0	0	0

Exigences de chauffage approximatives pour les veaux – Bâtiment bien isolé, taux de renouvellement d'air indiqués

Type de local et poids des veaux	Taux de renouvellement d'air minimal (pi^3/min/veau)	Chauffage d'appoint (BTU/h/veau)			
		-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C
Pouponnière chaude (temp. ambiante de 10–12 °C)					
moy. de 80 kg	10	1 500	1 000	500	0
Local abritant des veaux destinés à la production de viande de veau (temp. ambiante de 10-12 °C)					
60 kg	8	700	350	0	0
80 kg	10	600	250	0	0
100 kg	12	450	100	0	0
140 kg	15	300	0	0	0

Annexe E – Facteurs de conversion

Système international (SI)	
1 centimètre	10 millimètres
1 mètre	**100 centimètres**
1 kilomètre	1 000 mètres
1 mètre carré	**10 000 centimètres carrés**
1 mètre cube	1 000 000 centimètres cubes
1 mètre cube	**1 000 litres**

Système impérial	
1 pied	12 pouces
1 mille	**5 280 pieds**
1 pied carré	144 pouces carrés
1 pied cube	**1 728 pouces cubes**
1 verge cube	27 pieds cubes
1 pied cube d'eau	**6,23 gallons imp. d'eau**

Conversion du système impérial au SI

Système impérial	Facteur de conversion	Système international
Longueur		
1 pouce	multiplier par 25,4	25,4 millimètres
1 pouce	**multiplier par 2,54**	**2,54 centimètres**
1 pied	multiplier par 30,48	30,48 centimètres
1 pied	**multiplier par 0,3048**	**0,3048 mètre**
Superficie		
1 pouce carré	multiplier par 6,45	6,45 centimètres carrés
1 pied carré	**multiplier par 929**	**929 centimètres carrés**
1 pied carré	multiplier par 0,093	0,093 mètre carré
Volume		
1 pied cube	multiplier par 0,0283	0,0283 mètre cube
1 pied cube	**multiplier par 28,32**	**28,32 litres**
Débit		
1 pied cube/minute (pi^3/min)	multiplier par 0,4719	0,4719 litre/seconde
1 pied cube/minute (pi^3/min)	**multiplier par 0,0283**	**0,0283 mètre cube/minute**
Température		
1°F	5/9 x (____°F - 32)	-17,2 °C
Vitesse de l'air		
1 pied/minute	multiplier par 0,00508	0,00508 mètre/seconde
1 pied/minute	**multiplier par 0,0183**	**0,0183 kilomètre/heure**
1 mille/heure	multiplier par 88	88 pieds/minute
1 mille/heure	**multiplier par 1,61**	**1,61 kilomètre/heure**
Pression		
1 pouce de colonne d'eau	multiplier par 25,4	25,4 mm de colonne d'eau
1 pouce de colonne d'eau	**multiplier par 249,1**	**249,1 pascals (Pa)**

Autres conversions

Flux de la chaleur		
valeur R de 1 (ou R 1)	multiplier par 0,1761	valeur RSI de 0,1761
valeur RSI de 1 (ou RSI 1)	**multiplier par 5,678**	**valeur R de 5,678**
1 watt	multiplier par 3,4121	3,4121 BTU/h
1 BTU/h	**multiplier par 0,29307**	**0,29307 watt**